



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

**“APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA INVERSA EN
PROCESO DE MANUFACTURA INDUSTRIAL PARA
MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA EMPRESA
PERUANA METALMECÁNICA, 2019”**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Bach. Jorge Wilfredo Roman Castro

Asesor:

Mg. Ing. Frank Alberto Tello Legoas

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos ausentes
quienes con sus ejemplos y palabras
inspiraron en mi la persistencia y
coraje para alcanzar mis metas y
sueños; como, a mis hijos y esposa
motor de vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los profesores y compañeros de estudio; como a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo y conocimiento para el logro de mi meta.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Realidad problemática.....	1
1.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivos generales.....	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Hipótesis.....	4
1.4.1 Hipótesis general.....	4
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	5
2.1 Tipo de investigación.....	5
2.2 Materiales, instrumentos y métodos	5
2.2.1 Materiales	5
2.2.2 Instrumentos.....	5
2.2.2.1 Entrevista	6
2.2.2.2 Observación directa	6
2.2.2.3 Análisis documental	7
2.2.3 Métodos.....	7
2.2.3.1 Ingeniería Inversa (II)	7
2.2.3.2 Medición del trabajo	7
2.2.3.3 Herramientas de análisis DOP y DAP.....	7
2.2.3.4 Técnica TMAR.....	8

2.2.3.5 Relación costo vs beneficios	8
2.2.3.6 El valor actual neto (VAN)	9
2.2.3.7 Tasa de interés de retorno (TIR)	10
2.2.3.8 Despliegue de la función de la calidad (FQD)	10
2.2.3.9 Diagrama de Pareto	11
2.2.3.10 La Caja Negra de Sistemas	11
2.2.3.11 Método de descomposición funcional	11
2.2.3.12 Matriz morfológica	11
2.3 Procedimiento	12
2.4 Operacionalización de variables	13
CAPÍTULO III. RESULTADOS	14
3.1 Diagnostico de la situación actual de la productividad en la fabricación mallas ciclónicas	14
3.1.1 La empresa	14
3.1.2 Datos de la empresa	14
3.1.3 Proceso productivo actual	14
3.1.4 Las máquinas utilizadas	17
3.1.5 Indicadores de productividad	18
3.1.5.1 Producción por tipo de máquina	18
3.1.5.2 Productividad de la energía	19
3.1.5.3 Productividad material	20
3.1.5.4 Eficiencia física	21
3.1.5.5 Productividad humano	21
3.1.5.6 Productividad global	22
3.1.5.7 Identificación de causas de baja productividad	22
a) Aplicando el diagrama Ishikawa	22
b) Aplicando el diagrama de Pareto	26
3.2 Diseño de la máquina con empleo de la Ingeniería Inversa	28
3.2.1 Diagrama de actividades	32
3.2.2 Diagrama de operación de proceso	34

3.2.3 Diseño conceptual y funcional	35
3.2.4 Descomposición funcional.....	35
3.2.5 Matriz morfológica	36
3.2.6 Selección de ideas	38
3.2.7 Comprobación de ideas	39
3.2.8 Características y especificaciones de la idea 2	39
3.2.9 Diseño de la idea 2 seleccionado	39
3.2.10 Platina matriz de arrastre	40
3.2.11 Fuerza de tracción del alambre.....	40
3.2.12 Fuerza resultante total en la platina	41
3.2.13 Dimensión de la platina de arrastre	41
3.2.14 Deformación y desgaste de la platina	43
3.2.15 Diseño de matriz o caracol.....	44
3.2.16 Cálculo de la potencia de motor.....	45
3.2.17 Cálculo del eje de transmisión	46
3.2.18 Sistema de corte del eslabón	53
3.2.19 Sistema de doblado de terminales	56
3.2.20 Sistema de refrigeración	58
3.2.21 Sistema neumático	60
3.2.22 Características de la estructura de la máquina ciclónica	62
3.3 Medición de indicadores con la aplicación de Ingeniería Inversa	65
3.3.1 Capacidad de producción.....	65
3.3.2 Productividad energía	65
3.3.3 Productividad material.....	66
3.3.4 Eficiencia física.....	67
3.3.5 Productividad humano.....	67
3.3.6 Productividad global.....	68
3.4 Análisis económico de la viabilidad aplicando la Ingeniería Inversa.....	69
3.4.1 Cálculo del TMAR	69

3.4.2 Cálculo de la relación Costo vs Beneficio	70
3.4.3 Cálculo del valor neto actual (VAN)	71
3.4.4 Cálculo de la tasa de interés de retorno (TIR)	72
3.4.5 Ventajas económicas	72
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	73
4.1 Discusión	73
4.2 Conclusiones	74
REFERENCIAS.....	76
ANEXOS.....	78
Anexo 1: Actividades de innovación.....	78
Anexo 2: Malla olímpica.....	79
Anexo 3: Máquina ciclónica industrial automática.....	80
Anexo 4: Máquina enderezadora de alambre.....	81
Anexo 5: Características del alambre galvanizado.....	82
Anexo 6: Propiedades mecánicas a condiciones normales.....	83
Anexo 7: Propiedades físicas de materiales.....	84
Anexo 8: Pareto de los "Qué".....	85
Anexo 9: Pareto de los "Cómo".....	86
Anexo 10: Diagrama de actividades Gantt.....	87
Anexo 11: Propiedades típicas de los aceros.....	88
Anexo 12: Single wire fully automatic chain link fence machine with CE certificate.....	89
Anexo 13: Entrevista a jefe de operación.....	90
Anexo 14: Entrevista a operador.....	91
Anexo 15: Entrevista a técnico.....	92
Anexo 16: Guía de observación.....	93
Anexo 17: Informe de observación - Campo.....	94
Anexo 18: Características de alambre galvanizado.....	95
Anexo 19: Mecanismo mecánico de doblado.....	96
Anexo 20: Mecanismos de dobles y corte neumático.....	97

INDICE DE TABLAS

Tabla n.º1:	Materiales y servicios	5
Tabla n.º2:	Técnicas empleadas	6
Tabla n.º3:	Operacionalización de variables.....	13
Tabla n.º5:	Perfil de la empresa	14
Tabla n.º5:	Precios de las máquinas ciclónicas	17
Tabla n.º6:	Producción por tipo de máquina.....	18
Tabla n.º7:	Costo de consumo de energía eléctrica.....	19
Tabla n.º8:	Matriz de evaluación	26
Tabla n.º9:	Datos para hacer el diagrama de Pareto	27
Tabla n.º10:	Cuadro de necesidades que debe cubrir la máquina	28
Tabla n.º11:	Necesidades, requerimientos y métrica (Cómo).....	29
Tabla n.º12:	Análisis de los requerimientos	30
Tabla n.º13:	Características-Especificaciones	39
Tabla n.º14:	Carga de rotura mínima	54
Tabla n.º15:	Características de los actuadores de corte.....	54
Tabla n.º16:	Resistencia de flexión y tensión.....	56
Tabla n.º17:	Características de actuadores de dobles.....	57
Tabla n.º18:	Datos técnicos bomba centrífuga	59
Tabla n.º19:	Características de tubo rígido de cobre tipo "M"	60
Tabla n.º20:	Tabla comparativa de productividad por máquina....	68
Tabla n.º21:	Cálculo TMAR	69
Tabla n.º22:	Ingreso y egreso por año	70
Tabla n.º23:	Egreso y producción mensual	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema actual (DOP)	15
Figura 2: Diagrama de análisis de proceso (DAP) actual	16
Figura 3: Identificación de causas de baja productividad	24
Figura 4: Grafico Pareto – Productividad	27
Figura 5: Pareto de los “Qué”	31
Figura 6: Pareto de los “Cómo”	31
Figura 7: Relación entre los requerimientos (Entre los cómo)	32
Figura 8: Diagrama de actividades	33
Figura 9: Operación del proceso de la fabricación de la máquina	34
Figura 10: Caja negra.....	35
Figura 11: Descomposición funcional	35
Figura 12: Matriz morfológica	36
Figura 13: Matriz de selección de ideas.....	38
Figura 14: Comparación grafica de las ideas propuestas.....	39
Figura 15: Cocada de eslabón	41
Figura 16: Platina y matriz.....	42
Figura 17: Matriz o caracol.....	43
Figura 18: Diseño del eje de transmisión	48
Figura 19: Diagrama de cuerpo libre.....	49
Figura 20: Eje calculado	50
Figura 21: Cizalla para alambres	54
Figura 22: Doblador de terminales	56
Figura 23: Bomba centrífuga	58
Figura 24: Bomba de refrigeración con cebado positivo.....	59

Figura 25: Diagrama del sistema neumático.....	61
Figura 26: Elemento estructural UPN50	62
Figura 27: Elemento estructural UPE80.....	62
Figura 28: Propiedades del perfil macizo R25	63
Figura 29: Estructura máquina ciclónica tridimensional.....	63
Figura 30: Figura tridimensional.....	64

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1:	Relación Costo vs Beneficios	9
Ecuación 2:	Producción mensual	19
Ecuación 3:	Productividad de la energía	19
Ecuación 4:	Productividad material	20
Ecuación 5:	Eficiencia física	21
Ecuación 6:	Productividad humano	21
Ecuación 9:	Productividad global	22
Ecuación 10:	Cálculo del espesor de platina	40
Ecuación 11:	Esfuerzo de fluencia	40
Ecuación 12:	Cálculo de altura de platina	42
Ecuación 13:	Obtención de la deformación de la platina	43
Ecuación 14:	Espesor de la matriz	44
Ecuación 15:	Velocidad lineal	45
Ecuación 16:	Potencia de motor	45
Ecuación 17:	Límite de fatiga	46
Ecuación 18:	Resistencia a la fatiga	46
Ecuación 19:	Velocidad del eje	47
Ecuación 20:	Cálculo del torque de la transmisión	47
Ecuación 21:	Cálculo de la fuerza tangencial	48
Ecuación 22:	Cálculo de la fuerza de flexión	49
Ecuación 23:	Cálculo del diámetro del eje	51
Ecuación 24:	Presión de trabajo	55
Ecuación 25:	Cálculo de sección de alambre	56
Ecuación 26:	Producción mensual	65
Ecuación 27:	Productividad energía	65
Ecuación 28:	Productividad material	66

Ecuación 29:	Eficiencia física	67
Ecuación 30:	Productividad humano.....	67
Ecuación 33:	Productividad global.....	68
Ecuación 34:	TMAR.....	69
Ecuación 35:	Valor actual neto (VAN)	70
Ecuación 36:	Tasa de interés de retorno (TIR)	71

RESUMEN

La finalidad del presente trabajo es mejorar la productividad de una empresa peruana metalmecánica en la fabricación de rollos de mallas ciclónicas llamadas también olímpicas y de esta manera ponerla a la par de sus competidores.

Para lograr el objetivo se propone la fabricación de una máquina automática de tejidos de mallas ciclónicas industrial de alambre galvanizado empleando la técnica de la Ingeniería Inversa (II) para mejorar la productividad de la empresa peruana; además, mostrar cómo esta técnica multidisciplinaria contribuye al incremento de la productividad obteniéndose a través de su uso máquinas, repuestos, productos acorde a las necesidades del cliente, usuarios y sobre todo a bajos costos; para así, adaptar o mejorar una máquina industrial exógena a la necesidad productiva; es decir, no comercial.

Con el empleo de la Ingeniería Industrial se realizó el análisis de la productividad global, encontrándose el actual en 0,0032 y aumentando en 0,0036 de rollo de malla por sol, lográndose una mejora con la implementación del proyecto; esto también se debe, a las mejoras de los índices como el de productividad humano que dobla en valor al índice actual de 0,5 a 1 rollo de malla por horas – hombre; además, se logra una mejora en la eficiencia física de 85% a 94,12% con el uso de una máquina automática construida con la aplicación de la Ingeniería Inversa (II).

Finalmente, el análisis económico favorece la aplicación del proyecto en razón que se obtiene una relación costo versus beneficio ($R_{C/B}$) que otorga un 0,10 centavo de ingreso por sol invertido, una VAN que muestra una rentabilidad de 116 484,63 soles y una TIR del 96%.

Por todos estos resultados que hace rentable la inversión, se recomienda efectuarse el proyecto.

Palabras claves: Olímpica, Ciclónica, Galvanizado, Inversa, II, Multidisciplinaria y Exógena.

ABSTRACT

The purpose of this work is to improve the productivity of a Peruvian metalworking company in the manufacture of rolls of cyclonic meshes also called Olympics and thus put it on a par with its competitors.

To achieve the objective, the manufacture of an automatic galvanized wire mesh industrial cyclone mesh machine is proposed using the Reverse Engineering (II) technique to improve the productivity of the Peruvian company; In addition, showing how this multidisciplinary technique contributes to increased productivity by obtaining, through its use, machines, spare parts, products according to the needs of the client, users and especially at low costs; in order to adapt or improve an exogenous industrial machine to the productive need; that is, non-commercial.

With the use of Industrial Engineering, the global productivity analysis was carried out, finding the current one at 0,0032 and increasing the mesh roll by 0,0036 per sol, achieving an improvement with the implementation of the project; This is also due to improvements in rates such as human productivity, which doubles in value from the current rate of 0,5 to 1 roll of mesh per man-hour, and also achieves an improvement in physical efficiency of 85% to 94,12%. with the use of an automatic machine built with the application of Reverse Engineering (II).

Finally, the economic analysis favors the application of the project because a cost versus benefit ratio ($R_{C/B}$) is obtained, which grants 0,10 cents of income per invested sol, a VNA that shows a profitability of 116 484,63 soles and an TIR of 96%.

For all these results that make the investment profitable, it is recommended to carry out the project.

Keywords: Olympic, Cyclonic, Galvanized, Reverse, II, Multidisciplinary and Exogenous.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Las empresas peruanas manufactureras tienen dificultad para aumentar su productividad debido a falta sistemas de fabricación, procesos y tecnologías que sean de clase mundial; esto es porque, "para una economía, ser competitiva implica ofrecer un producto o servicio con el precio más bajo gracias a una alta productividad. Esta última se logra produciendo más con la misma cantidad de recursos: tecnología, capital y trabajo" (Castillo, 2018).

Esto también concuerda con lo que se publicó en el diario El Peruano donde se sostuvo que: "El Perú es uno de los países donde las empresas presentan grandes brechas entre sus tecnologías y la productividad. El 95% de los problemas de las compañías se pueden solucionar con tecnologías existentes, por eso, la importancia de acortar esta brecha es enorme" (El Peruano, 2018).

Por lo tanto:

La productividad en una empresa está vinculada, en gran medida, a su tecnología tanto de equipos como de planta. Entre mayor tecnología, la productividad por persona es más significativa... En el mundo la imitación y la copia fueron los motores del desarrollo. Fue cuando se crearon sistemas de patentes y se endiosaron que estas se convirtieron en un freno para la innovación. Es por eso que las patentes deben ser utilizadas de forma adecuada para los intereses de nuestro país (ESAN, 2017).

En la búsqueda de implementar nuevas tecnologías, las empresas peruanas se encuentran con la dificultad para adquirir máquinas con estas características, para mejorar su producción y competitividad, esto debido, por sus altos precios; además, los costos en mantenimiento y adquisición de repuestos son elevados; por la razón, que son productos importados que representan alta tecnología, siendo los fletes que aumentan aún más sus costos. Tal es así, que recurren a repuestos alternativos y adaptativos para los equipos de sus procesos, buscando que innovar tecnología; de esta manera, se realiza la "Ingeniería Inversa" o también conocida como:

Reverse Engineering" (IR) de una forma desordenada, desenfocada y sin apoyo de la dirección de la empresa ignorando el gran potencial de esta herramienta multidisciplinaria que los llevaría a aventajar a sus competidores creando máquinas o repuestos de alta productividad a menores costos, sin tomar en cuenta 'que las

empresas de la industria manufacturera que realizaron al menos una actividad con la intención u objetivo de innovar ascienden a 5 546 empresas' (INEI, 2015).

Como se puede deducir con lo arriba mencionado, la productividad se mejora conforme se desarrolla la tecnología o se aplique la ya existente; además, está sujeta a que podamos realizar adaptaciones, mejoras a los sistemas y procesos de la producción. Existen estudios científicos sobre la aplicación de la ingeniería inversa en muchas disciplinas, como las de ingeniería mecánica, ingeniería de plástico, ingeniería aerodinámica e ingeniería de software por mencionar algunos.

Por ejemplo, se tiene el trabajo publicado quienes mencionan que "No cabe ninguna duda del interés que porta la comunidad científica en cuanto al mantenimiento de estos, debido a las oportunidades brindadas para los nuevos paradigmas de desarrollo de software. La ingeniería inversa de base de datos (DBRE), como propuesta, es un proceso imperfecto guiado por un conocimiento imperfecto" (Desiré & Sepúlveda, 2006).

Además, concluyen que "La información obtenida a través del proceso de ingeniería inversa direccionada al diseño y la manufactura, puede usarse para diversos propósitos" (Álvarez & Sanchez, 2016).

También, se afirma que "Es una metodología que busca principalmente conocer y determinar las características o funciones de un componente... Por esta razón, la ingeniería inversa se realiza más a menudo que el diseño propio" (Vaca, 2018).

Lo concerniente con la productividad industrial se afirma que "La empresa se considera como un sistema abierto y la clave de su éxito depende de la mejora constante de su gestión productiva. Sus beneficios se ven afectados por cuatro factores básicos: el precio de venta de los productos, el costo de los insumos, la cantidad de los productos vendidos y la cantidad de productos que se tienen del total de insumos utilizados: Los tres primeros dependen de tres factores externos, mientras que el último depende de la empresa" (Arana, 2014).

La empresa peruana Jorge Roman Servicios Generales SAC. comparte los problemas antes expuestos, ocasionándole una baja productividad, debido a los altos costos que actualmente maneja en su producción en mallas ciclónicas (ver anexo 2); debiendo para resolver este problema, desembolsar una fuerte suma de dinero para la implementación de tecnología que le ayude a mejorar su productividad; contrario a esto, es que deciden fabricar una máquina automática ciclónica mediante la aplicación de la Ingeniería Inversa (II) para reducir sus costos en la adquisición de la máquina impactando positivamente a su productividad y economía.

La fabricación se realizará con el empleo de la Ingeniería Inversa, por no contar con planos o máquina automática en físico, usando la observación y el análisis de videos de máquinas que se encuentran en internet, que son de diferentes tipos de tecnologías,

optando por los mejores sistemas, aplicaciones y la confiabilidad que representen. (Ver anexo 3).

En la actualidad hay muchos autores que definen la ingeniería Inversa; los mismos que coinciden que, en la aplicación de esta herramienta no se cuenta con la suficiente información como planos, diagramas y que más bien a través de la *abstracción*, observación, análisis y conocimiento de principios básicos se puede desarrollar nueva tecnología, solucionar problemas de diseños y logístico; como también mejorar la competitividad y producción; tal es así que se define:

Como Ingeniería Inversa o Reverse Engineering al proceso de duplicar una pieza, componente o conjunto, sin la ayuda de planos, documentación o modelos auxiliares. Se parte siempre de un modelo físico y se usan métodos de ingeniería de medida, análisis, diseño y adquisición de datos para finalmente obtener una réplica idéntica o mejorada del objeto (Zhañay & Lituma, 2011).

Se agrega que, en la aplicación de la ingeniería inversa en la Ingeniería Mecánica, "en el caso donde los documentos técnicos de construcción no existan, las técnicas de IR son usadas por los ingenieros para la reconstrucción de piezas mecánicas" (Weiss & Pankowski, 2007).

También, hay quienes han tratado sobre la ética y legalidad del uso de esta herramienta, tal es así que:

La Corte Suprema de los Estados Unidos destacó la importancia de la ingeniería inversa, caracterizándolo como una 'parte esencial de la innovación', y la definieron como "[es] empezar con el producto conocido y trabajando hacia atrás o en reversa para adivinar el proceso que ayudó en su desarrollo o manufactura" (Public Law, 2016).

Para hablar de la productividad:

La primera pregunta que nos surge es ¿qué es la productividad? En términos generales, la productividad es un indicador que refleja que tan bien se están usando los recursos de una economía en la producción de bienes y servicios. Podemos definirla como una relación entre recursos utilizados y productos obtenidos y denota la eficiencia con la cual los recursos humanos, capital, tierra, etc. son usados para producir bienes y servicios en el mercado (Felsinger & Runza, 2002).

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida la ingeniería inversa aplicada a la fabricación de una máquina Industrial automática ciclónica mejora la productividad de una empresa peruana metalmecánica?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Aplicar la ingeniería inversa en la fabricación de una máquina industrial automática ciclónica, para mejora la productividad de una empresa peruana metalmecánica.

1.3.2 Objetivo específico

- Diagnóstico de la situación actual de la productividad en la fabricación de mallas ciclónicas.
- Diseño de la máquina de fabricación de malla ciclónicas con empleo de la ingeniería inversa.
- Medición de indicadores de productividad con la aplicación de ingeniería inversa.
- Análisis de viabilidad económica aplicando la ingeniería inversa en la fabricación de mallas ciclónicas.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La aplicación de la ingeniería inversa, en la fabricación de la máquina Industrial automática ciclónica, mejora la productividad de la fabricación de mallas ciclónicas de una empresa peruana metalmecánica.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

Según su propósito:

El tipo de investigación por su propósito de esta tesis es del tipo aplicada debido a que este estudio "se caracteriza por su interés en la aplicación, utilización y consecuencias prácticas de los conocimientos. La investigación aplicada busca el conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar" (Rodriguez, 2012).

Según su profundidad:

Es explicativa: "Su objetivo, por lo tanto, es conocer por qué suceden ciertos hechos, analizando las relaciones causales existentes o, al menos, las condiciones en que ellos se producen" (Sabino, 1992).

Por su naturaleza:

Sus datos son cuantitativos "se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones" (Hernandez, Fernández, & Baptista, 2014).

2.2 Materiales, instrumentos y métodos.

2.2.1 Materiales

Los materiales y servicios que emplearon para la realización del presente estudio del proyecto fueron en orden de prioridad: Ver Tabla n.º 1.

Tabla n.º 1. *Materiales y servicios*

	Item	Nombre
Materiales	1	Laptop Lenovo
	1	Impresora HP
	1	Cronómetro
	1	Camara
	1	Clipboard
	1	Útiles de escritorio
	1	Calculadora
Servicios		Internet
		Telefonia

Fuente: Autoría propia.

2.2.2 Instrumentos

Ahora se detallan las técnicas, pasos para la obtención de datos y su posterior análisis del presente estudio. Ver tabla n.º 2.

Tabla n.º 2. *Técnicas empleadas*

Situación Actual	Técnica	Instrumentos	Empleado en:	Justificación
Objetivos específicos	Entrevista	Cuestionario de preguntas.	Jefe de operación. Operario de máquina. Técnico electromecánico	Informarse del proceso y de las dificultades de fabricación de las mallas que se conocen.
	Observación directa	Formato diagrama de operación de proceso (DOP). Formato diagrama de análisis de proceso (DAP). guía de observación.	La producción de mallas olímpicas.	Determinar el grado de dificultad en el proceso actual en virtud al tiempo y el número de procesos.
	Análisis documental	Ficha resumen.	Historial de operación de la empresa.	Conocer la demanda y capacidad real de atención y producción.

Fuente: Datos propios.

Como fuente primaria se considera el método de la observación directa y entrevista; como secundario el análisis documental.

2.2.2.1 Entrevista.

A través de un cuestionario de preguntas, se recopila información directa de los involucrados en el problema del proceso de producción; para así, lograr obtener datos sobre los puntos de vista de los operarios, técnicos y jefes, concerniente a la manera que vienen realizando sus trabajos en la fabricación de las mallas, como las dificultades o problema que encuentran en el proceso actual y sus sugerencias a las oportunidades de mejoras. Esta información empleada en la herramienta de diseño de despliegue de la función de calidad (QFD), que es definida más adelante en métodos, podrá ayudar a saber sobre las necesidades y requerimientos que deben atender para lograr un diseño matemático, apoyado en la ingeniería inversa que mejore la productividad.

2.2.2.2 Observación directa.

Esta técnica apoyado de un cronómetro, formatos DAP y DOP se podrá corroborar de forma directa los tiempos, los números de operaciones y obtener el cuadro resumen del proceso actual de la fabricación de las mallas olímpicas, para luego, compararlos con el propuesto; a su vez, obtener más datos sobre el proceso de fabricación. Analizando estos formatos se sabrá qué pasos podrán ser suprimidos y que otros agregarlos, como que elementos o características debe de cumplir la máquina a fabricar.

2.2.2.3 Análisis documental.

Además, con la recopilación de documentos como las facturas, guías de remisión, boletas, notas de pedidos, guías de remisión y recibos se pudo corroborar la capacidad de producción actual y las demandas de los diferentes tipos de mallas según el calibre del alambre.

2.2.3 Métodos

Definición de métodos, técnicas o herramientas empleadas en el presente trabajo.

2.2.3.1 Ingeniería Inversa (II) o Reverse Engineering (RE).

Se define:

Como Ingeniería Inversa o Reverse Engineering al proceso de duplicar una pieza, componente o conjunto, sin la ayuda de planos, documentación o modelos auxiliares. Se parte siempre de un modelo físico y se usan métodos de ingeniería de medida, análisis, diseño y adquisición de datos para finalmente obtener una réplica idéntica o mejorada del objeto (Zhañay & Lituma, 2011).

2.2.3.2 Medición del trabajo.

Se define la Medición del trabajo como "la aplicación de técnicas para determinar el tiempo estándar que invierte un trabajador calificado en realizar una tarea definida, efectuando según una norma (método) preestablecido" (Flores, 2012).

En el presente proyecto se empleó el método de la observación directa con la ayuda de un cronómetro, formatos DOP y DAP.

2.2.3.3 Herramientas de análisis DOP y DAP.

El DOP.

Es la representación gráfica y simbólica del acto de elaborar un producto o proporcionar un servicio, mostrando las operaciones e

inspecciones efectuadas o por efectuar, con sus relaciones sucesivas cronológicas, materiales utilizados y lugar de localización. En este diagrama sólo se registrarán las principales operaciones e inspecciones para comprobar la eficiencia de aquellas, sin tener en cuenta quién las efectúa (Noriega & Díaz, 1997).

El DAP.

“El DAP, es la representación gráfica de la secuencia de todas las operaciones, transporte, inspecciones, demoras y los almacenamientos que ocurren durante un proceso o procedimiento. Comprende toda la información que se considera deseable para el análisis tal como tiempo necesario y distancia recorrida” (Mv., 2014).

2.2.3.4 Técnica TMAR.

Esta técnica se define de la siguiente manera:

La TMAR (tasa mínima aceptable de rendimiento) es la rentabilidad mínima que un inversionista espera obtener de una inversión, teniendo en cuenta los riesgos de la inversión y el costo de oportunidad de ejecutarla en lugar de otras inversiones.

Por tanto, indica la mínima tasa de beneficio que un gerente de proyecto considera aceptable para poder iniciar un proyecto. Los gerentes aplican este concepto en una amplia variedad de proyectos para así determinar si los beneficios o riesgos de un proyecto exceden el de otros posibles.

La TMAR generalmente se determina al evaluar las oportunidades existentes en la expansión de las operaciones, la tasa de rendimiento de las inversiones y otros factores que la gerencia considera relevantes (Sy, s.f).

2.2.3.5 Relación Costo vs Beneficios.

Todo proyecto antes de ser efectuado necesita ser aprobado por los gerentes de negocios y para esto tiene que pasar ciertos criterios económicos, que son propuestos en toda inversión o gasto de

capital, esto debe ser analizado por la relación costo-beneficio que:
Es una herramienta financiera que compara el costo de un producto
versus el beneficio que esta entrega para evaluar de forma efectiva
la mejor decisión a tomar en términos de compra.

El análisis costo-beneficio de un proyecto, por ejemplo, está
constituido por un conjunto de procedimientos que proporcionan las
medidas de rentabilidad del proyecto mediante la comparación de
los costos previstos con los beneficios esperados al llevarlo a cabo.

En economía, para calcular si la balanza costo-beneficio está
equilibrada se utilizan los siguientes pasos y fórmulas: Se define el
valor monetario de los costos y de los beneficios para la
implantación del sistema. Se convierten los costos y los beneficios
a un valor actual. Se halla la relación costo-beneficio (C/B), que es
igual a los ingresos totales netos divididos por los costos totales:

$$C/B = \frac{\text{Ingreso totales neto}}{\text{Costo totales}} \quad (1)$$

Si el análisis de la relación C/B es mayor a 1 significa que es
rentable, mientras que si es igual o menor a 1 indica que no es
rentable. Se toma el resultado y se compara con otros proyectos.
Se escoge el proyecto con el mayor índice en la relación.

Para un análisis costo-beneficio, se debe tener conocimientos de
mercado, de las necesidades y requerimientos del proyecto, y de
los recursos disponibles para su aplicación antes de calcular su
efectividad (Costo-Beneficio, 2017).

2.2.3.6 El valor actual neto (VAN).

El Valor Actual Neto de un proyecto es el valor actual/presente de
los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por
flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos periódicos y
los egresos periódicos. Para actualizar esos flujos netos se utiliza
una tasa de descuento denominada tasa de expectativa o
alternativa/oportunidad, que es una medida de la rentabilidad

mínima exigida por el proyecto que permite recuperar la inversión, cubrir los costos y obtener beneficios (Mete, 2014).

2.2.3.7 Tasa interna de retorno (TIR).

Es otro criterio utilizado para la toma de decisiones sobre los proyectos de inversión y financiamiento. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la tasa de interés que, utilizada en el cálculo del Valor Actual Neto, hace que este sea igual a 0.

El argumento básico que respalda a este método es que señala el rendimiento generado por los fondos invertidos en el proyecto en una sola cifra que resume las condiciones y méritos de aquel. Al no depender de las condiciones que prevalecen en el mercado financiero, se la denomina tasa interna de rendimiento: es la cifra interna o intrínseca del proyecto, es decir, mide el rendimiento del dinero mantenido en el proyecto, y no depende de otra cosa que no sean los flujos de efectivo de aquel. (Mete, 2014).

2.2.3.8 Despliegue de la función de la calidad (FQD).

El Despliegue de la función de calidad, también llamado La Casa de la Calidad, Análisis de necesidades y expectativas, o QFD (Quality Function Deployment), es una metodología usada en la ingeniería de la calidad para crear productos que se adapten a los gustos y necesidades del usuario.

De esta forma, con esta metodología podremos calcular de forma matemática que características no necesarias que aportan un sobrecoste al producto sin ser apreciadas por el usuario y nos dará una visión de cómo está nuestro producto frente a la competencia para poder decidir cuáles son los aspectos prioritarios a mejorar (Jimeno, 2012).

2.2.3.9 Diagrama de Pareto (Principio 80/20).

"Este patrón fue descubierto en 1897 por el economista italiano Vilfredo Pareto, cuando investigaba patrones de riqueza en Inglaterra, y encontró que el 20% de la población disfrutaba del 80% de la riqueza. Y que este patrón se repetía no sólo en lo económico, sino en prácticamente todos los ámbitos de la vida" (Koch, 2007).

"Este principio define, literalmente, que el 80% de los resultados provienen del 20% de los esfuerzos dedicados. Que el 20% de las causas provocan el 80% de las consecuencias. Que el 20% del esfuerzo genera el 80% de los resultados" (Koch, 2007).

2.2.3.10 La caja negra de sistemas.

Esta técnica de Cristopher Jones:

"La caja negra es la abstracción de un sistema que realiza una función determinada, conectado al entorno por medio de entradas y salidas. La función de la caja negra es básicamente la definición de la función general o principal, que se desea realizar, establecer concretamente el tipo de entradas y salidas y punto de partida para definir sub funciones identificables" (Chancy & Mejía, 2010).

Esto ayuda a identificar las entradas que recibe y las salidas que se dan sin tener en cuenta su funcionamiento interno. Aquí se define la función principal y es punto de inicio para definir las sub funciones identificables.

2.2.3.11 Método de descomposición funcional (Caja gris).

"Se desglosa la caja negra en sistemas a tener en cuenta para el funcionamiento de la máquina. Estos sistemas interactúan con las entradas y dan lugar a salidas, entre ellas el producto deseado" (Pacavita, Gutierrez, & Escorcia, 2010).

De esta manera se puede ver los sistemas necesarios y los componentes para la realización del trabajo, y determinar qué elementos son necesarios para el diseño final.

2.2.3.12 Matriz morfológica.

"La matriz morfológica sirve para poder ver que diferentes elementos pueden desempeñar cada subfunción descrita en la estructura funcional anterior, el objetivo de esta matriz es combinar los elementos de cada sub función para obtener una serie de

diseños del dispositivo. Estos se evaluarán y se seleccionara el mejor" (Chancy & Mejía, 2010).

2.3 Procedimiento

Se realizó los siguientes pasos y se emplearon las siguientes técnicas e instrumentos que se detallan:

- a) Solicitud de permiso a la gerencia de la empresa para realizar la entrevista tomando en cuenta la posición que ocupan los que van hacer entrevistados en el proceso; como son: los operadores de las máquinas, el jefe del taller y supervisor administrativo. Esto es con el fin de que se conozca la situación actual del proceso de fabricación de mallas, aspectos administrativos y poder absolver el cuestionario de preguntas previamente hecho; además, como recoger la opinión libre de los entrevistados sobre el proceso. El tiempo establecido de duración de la entrevista fue de 30 minutos, haciendo uso de un ambiente adecuado, entregándose una copia al final de la entrevista como parte de la transparencia y profesionalismo de la misma. Se empleó para esto una cámara fotográfica, cuestionario de preguntas y un celular para la grabación.

Para realizar la entrevista se cumplió con los estándares de seguridad, la realización del ATS; demás, se priorizó el uso de equipo de protección personal básico (EPP). Se archivó estas entrevistas para su posterior análisis con los demás datos.

- b) Se realizó la observación directa de todo el proceso, para lo cual se emplearon los formatos DOP, DAP y cuadro resumen, para la comparación entre la situación actual y la propuesta de mejora.
- c) Se pidió a los operadores que durante la observación trabajen de forma normal sin variar el ritmo de trabajo y sin preocuparse de la observación que se estaba realizando. Se tomó nota de todos los tiempos muertos; así, como el tiempo de refrigerio, uso de servicio de baño y otros.
- d) Para la toma de tiempo se usó como herramienta un cronómetro y los formatos DAP y DOP.
- e) Los formatos utilizados se guardan para ser analizados luego, con los demás datos obtenidos en el estudio de este proyecto.
- f) En el análisis documental se seleccionó los documentos relacionados al proceso, tanto los históricos y los más recientes, como son las notas de pedido de materia prima, el costo de material para la producción, guías de remisión, planilla de pagos, solicitud de sobre tiempos, notas de pedidos de clientes, facturación por venta, facturas pendientes de cobro, costo de flete o transporte del producto, recibos de servicios de luz, teléfono y agua. Toda esta información se analizará en conjunto con los demás datos obtenidos en el presente estudio.

2.4 Operacionalización de variables

Las variables de la presente investigación se muestran en la tabla n.º 3.

Tabla n.º 3.

Operacionalización de variables

Variables		Definición	Dimensión	Indicador
Variable independiente	Ingeniería inversa	<p>“La ingeniería inversa representa el proceso de analizar un sistema con dos metas en mente: 1) Para identificar los componentes del sistema y sus relaciones y 2) para crear las representaciones del sistema en otra forma o en un nivel de abstracción más alto” (Gordon & Melvin, 2003).</p> <p>“La ingeniería inversa es el proceso de diseñar un sustituto, el cual remplace de forma aceptable a un producto o parte. En este caso, ingeniería inversa es un caso particular de rediseño que se fundamenta en diversos aspectos del producto original y en el análisis de un ejemplar y se aplica cuando el proceso de diseño o la documentación original no está disponible” (Borja, Lopez, Santillan, Gónzales, & Bell, 1998).</p>	Componentes.	Números de componentes.
			Diseño.	Planos.
			Producto mejorado.	FS: Factor de servicio uno (1).
Variable dependiente	Productividad	<p>“Podemos definirla como una relación entre recursos utilizados y productos obtenidos y denota la eficiencia con la cual los recursos humanos, capital, tierra, etc. son usados para producir bienes y servicios en el mercado” (Felsinger & Runza, 2002).</p>	Producción mensual.	Número de unidades por mes.
			Productividad energía.	Relación: Producción/Insumo energía.
			Productividad material.	Relación: Producción/Insumo materiales.
			Productividad humana.	Relación: Producción/Insumo humano.
			Productividad capital.	Relación: Producción/Insumo capital
			Eficiencia física.	Relación: Peso del producto terminado/Peso de la materia prima.
			Productividad global.	Relación: Producción total/Factores utilizados.

Fuente: Autoría propia.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Diagnóstico de la situación actual de la productividad en la fabricación de mallas ciclónicas

3.1.1 La empresa

La empresa Jorge Roman Servicios Generales S.A.C. es una empresa dedicada a brindar servicios de montaje de estructuras metálicas en general; así como, la fabricación de elevadores de carga, cercos alambrados, plataformas y comercialización de mallas ciclónicas de alambre galvanizadas. Prestamos servicios a entidades privadas y estatales. Ver tabla n.º 4.

3.1.2 Datos de la empresa.

Tabla n.º 4.

Perfil de la empresa

Razón Social	Jorge Roman Servicios Generales S.A.C.
RUC	20602009743
Actividad económica	Construcción
Dirección	Lima – El Agustino, La Menacho II, Calle de la Palmera Mz. C Lt 45
	Cajamarca – Barrio Chontapaccha, FONAVI I, Calle los Reyes 139
Página Web	https://www.jrserviciosconstruccion.com.pe
Representante legal	Jorge Wilfredo Roman Castro

Fuente: Autoría propia.

3.1.3 Proceso productivo actual

La fabricación de mallas ciclónicas con una máquina semindustrial toma más tiempo y es más costosa que realizarla en una máquina automática; inclusive, se emplea hasta dos operarios en las máquinas semiautomáticas para acortar el tiempo de entrega.

El tiempo de la elaboración está sujeto al calibre o grosor del alambre, de la destreza de los operarios quienes calculan las longitudes de los eslabones y los cortes del tamaño de los mismos de forma visual; además, afectan la calidad y la similitud entre los nudos de los extremos de la malla; por esta razón, se produce más merma en el proceso y una baja calidad del producto.

Se desarrolló el DOP el cual muestra la secuencia de actividades de la fabricación de la malla ciclónica en el actual proceso. Ver figura 1.

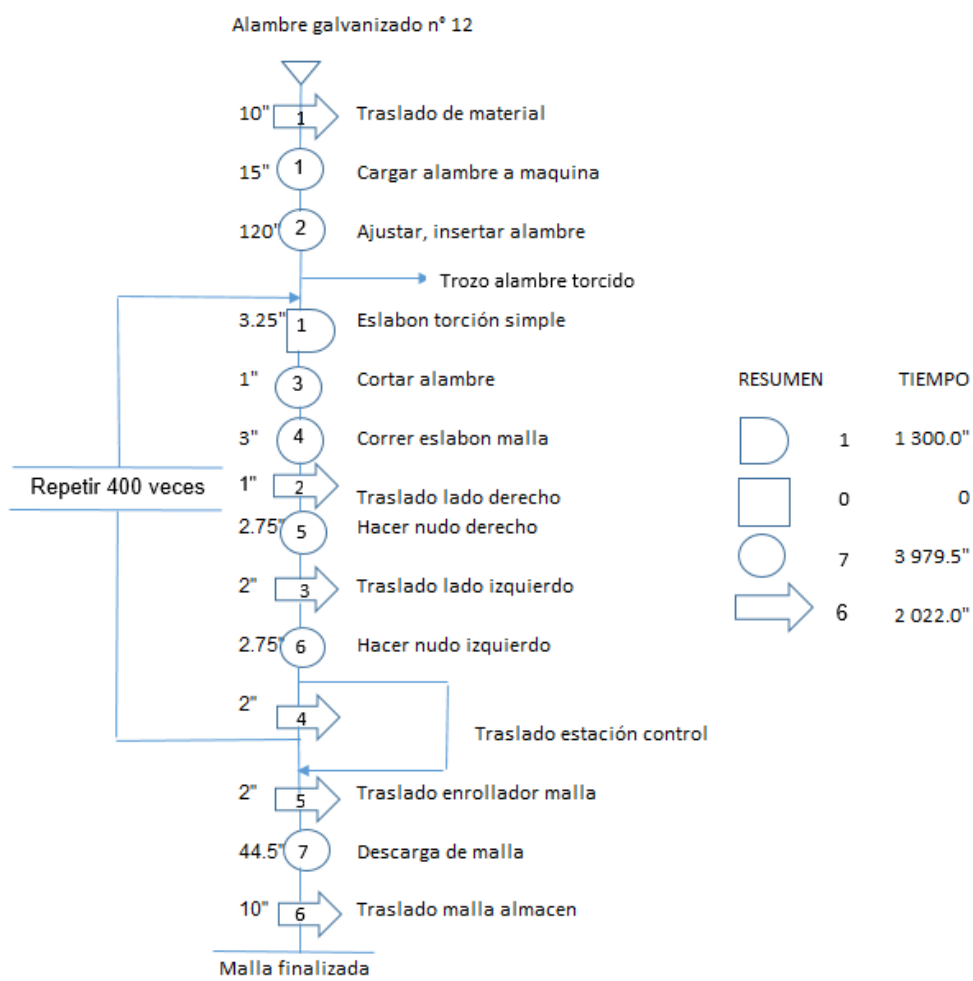


Figura 1. Sistema Actual (DOP).

Nota: Malla ciclónica de 20m x 2m (40m²).

Fuente: Autoría propia.

Se presenta un Diagrama de Análisis de Operación del Proceso (DAP) actual de la fabricación de las mallas ciclónicas, de una máquina semiautomática en la figura 2, obteniéndose los tiempos con la técnica de cronometraje de actividades, realizadas mediante la observación, para el análisis y comparación de este tipo de actividades con otro proceso automático que más adelante se analizará y que al final se toma el tiempo promedio de cada una de estas actividades cronometradas.

En el cuadro resumen de la figura 2 del DAP se compara ambos procesos y se aprecia las diferencias notables entre estos dos procesos el actual y propuesto, siendo más ventajosa la segunda debido al menor tiempo, distancia y actividades realizadas para fabricar la malla ciclónica.

DIAGRAMA DE ANALISIS DE PROCESO (DAP)

PROCESO: FABRICACIÓN DE MALLA CICLÓNICA CON MAQUINA SEMI AUTOMATICA
ELABORADO POR: JORGE ROMAN CASTRO
ÁREA: PRODUCCIÓN

FECHA: 18/12/2019

METODO: ACTUAL

ACTIVIDADES	RESUMEN								
	ACTUAL			PROPUESTO			DIFERENCIA		
	Nº	Tiempo (s)	Distancia(m)	Nº	Tiempo (s)	Distancia(m)	Nº	Tiempo (s)	Distancia(m)
○	1603	3979.5		4	1275.24		1599	2704.26	0
⇒	1203	2022	2022	3	734	22	1200	1288	2000
D	400	1300		1	1592.5		399	-292.5	0
□	0	0		0	0		0	0	0
▽	1	0		1	0		0	0	0
TOTAL	3207	7301.5	2022	9	3601.74	22	3198	3699.76	2000

Nº	ACTIVIDAD					DIAGRAMA DE PROCESO ACTUAL		
	OPER.	TRANS.	DEMOR.	INS.	ALM.	d (m)	t (s)	OBSERVACIONES
1	○	⇒	D	□	▽			ALMACEN DE MATERIA PRIMA DE ROLLOS DE ALAMBRES.
2						10	10	TRASLADO EN COCHE DE MATERIA PRIMA ROLLO DE ALAMBRE HACIA MAQUINA SEMI AUTOMATICA CICLÓNICA. DISTANCIA 10 m.
3							15	CARGA DEL ROLLO DE ALAMBRE A LA MÁQUINA.
4							120	AJUSTE INSERTADO DE ALAMBRE A LA MAQUINA SEMI AUTOMATICA CICLÓNICA.
5							1300	EL OPERADOR ESPERA DURANTE EL DOBLADO DEL ESLABON DE LA MALLA, ESTO DEMORA UN TIEMPO DE 3.25 s PARA LUEGO PASAR AL SIGUIENTE DOBLADO DE ESLABÓN ESTO SE REPITE POR 400 VECES PARA LUEGO PASAR POR ÚNICA Y ÚLTIMA VEZ TERMINANDO LA MALLA; POR LO TANTO 3.25 s POR 400 VECES.
6							400	CORTE DE ALAMBRE LUEGO DE FINALIZADO CADA ESLABÓN QUE DEMORA 1 s DEPENDIENDO EL TIEMPO DEL ESPESOR DEL ALAMBRE POR LA DIFICULTAD DE CORTE MANUAL ESTO SE REPITE POR 400 VECES PARA LUEGO PASAR POR ÚNICA Y ÚLTIMA VEZ TERMINANDO LA MALLA; POR LO TANTO 1 s POR 400 VECES.
7							1200	CORRIMIENTO MANUAL DEL ESLABON DE LA MALLA QUE DEMORA 3 s CADA VEZ QUE SE TERMINA LA FORMACIÓN DE ESTA, ESTO SE REPITE POR 400 VECES PARA LUEGO PASAR POR ÚNICA Y ÚLTIMA VEZ TERMINANDO LA MALLA; POR LO TANTO 3 s POR 400 VECES.
8						400	400	TRASLADO HACIA EL LADO DERECHO DE LA MAQUINA Y LA MALLA DESDE EL PUNTO DE CONTROL PARA EL DOBLADO DE LAS PUNTAS DE LOS ESLABONES (NUDO), ESTO SE REPITE POR 400 VECES PARA LUEGO PASAR POR ÚNICA Y ÚLTIMA VEZ TERMINANDO LA MALLA; POR LO TANTO 1s POR 400 VECES. DISTANCIA 1m POR 400 VECES.
9							1100	DOBLADO DE LAS PUNTAS DE LOS ESTREMOS (NUDO) DE LOS ESLABONES DEL LADO DERECHO DE LA MALLA ESTO SE REPITE POR 400 VECES PARA LUEGO PASAR POR ÚNICA Y ÚLTIMA VEZ TERMINANDO LA MALLA; POR LO TANTO 2.75 s POR 400 VECES.
10						800	800	TRASLADO HACIA EL LADO IZQUIERDO DE LA MAQUINA Y MALLA DESDE EL LADO DERECHO DE LA MALLA PARA EL DOBLADO DE LAS PUNTAS DE LOS ESLABONES (NUDO), ESTO SE REPITE POR 400 VECES PARA LUEGO PASAR POR ÚNICA Y ÚLTIMA VEZ TERMINANDO LA MALLA; POR LO TANTO 2s POR 400 VECES. DISTANCIA 2m POR 400 VECES.
11							1100	DOBLADO DE LAS PUNTAS DE LOS ESTREMOS (NUDO) DE LOS ESLABONES DEL LADO IZQUIERDO DE LA MALLA ESTO SE REPITE POR 400 VECES PARA LUEGO PASAR POR ÚNICA Y ÚLTIMA VEZ TERMINANDO LA MALLA; POR LO TANTO 2.75 s POR 400 VECES.
12						800	800	TRASLADO DEL ESTREMO DERECHO DE LA MAQUINA O MALLA HACIA LA ESTACIÓN DE CONTROL SE REPITE SOLO POR 400 VECES PORQUE PARA EL ÚLTIMO ESLABON ES INECESARIO ESTE PASO; POR LO TANTO 2s POR 400 VECES. DISTANCIA 2m POR 400 VECES.
13						2	2	TRASLADO DEL OPERADOR HACIA EL ENROLLADOR DE MALLA de la MÁQUINA PARA SU DESMONTAJE.
14							44.5	DESCARGA DE LA MÁQUINA LA MALLA CICLÓNICA.
15						10	10	TRASLADO EN COCHE DE LA MALLA CICLÓNICA AL ALMACEN DISTANCIA 10m.
16								ALMACENAJE DE MALLAS CICLÓNICAS.
17								
18								
19								
20								

Figura 2. Diagrama de análisis de proceso (DAP) actual.

Nota: Malla ciclónica de 20m x 2m (40m2).

Fuente: Autoría propia.

En el proceso de la fabricación de las mallas ciclónicas actual se obtuvo el cuadro de resumen de operaciones, donde se observa que hay actividades que se repiten 400 veces, como los desplazamientos repetitivos que incrementa la longitud total y el tiempo en la fabricación del producto, demandando como mínimo 2 horas en el proceso de un rollo de malla de 2 m de alto por 20 m de largo.

3.1.4 Las Máquinas utilizadas

➤ *Máquina ciclónica.*

Las maquinas semiautomáticas y manuales no contribuyen a disminuir el tiempo de fabricación de las mallas ciclónicas, por lo contrario, emplean muchos más recursos para lograr su objetivo; pensando en esto, plantean la obtención de una máquina automática ciclónica en nuestro medio con la aplicación de la ingeniería inversa.

Se observa en la tabla n° 5 que los diferentes proveedores de este tipo de máquina tienen precios similares incluyendo el flete; pero, se señala que se puede obtener la misma máquina en nuestro medio a menor precio, fabricándola con el método de ingeniería inversa ahorrando mucho dinero. Ver Tabla n.º 5.

Tabla n.º 5. *Precios de las máquinas ciclónicas*
"Cotización de Maquina Ciclónica"

País	Tipo	Precio \$	Flete \$	Precio Total \$*
Argentina	Automática	47 000	2 000	49 000
Brasil	Automática	41 200	3 850	45 050
China	Automática	25 000	15 311	40 311
México	Automática	41 000	5 000	46 000

* Dolares USA.

Estos precios son el promedio del valor del mercado de los fabricantes de este tipo de maquina.

Fuente: Datos propios.

➤ *Máquina enderezadora de alambre.*

Una máquina adicional es la "Enderezadora de Alambre" que les permite recuperar material torcidos y con defectos, producidos durante el proceso o el transporte, disminuyendo de esta manera la merma. Ver anexo 4.

3.1.5 Indicadores de productividad (Variables dependiente)

Para que se pueda realizar los indicadores de productividad se necesitará los costos de insumos, como el precio de venta de las mallas ciclónicas que se detallará más adelante.

3.1.5.1 Producción por tipo de máquina.

Las máquinas automáticas ciclónicas pueden entregar una producción de 40m²/hora a 70m²/hora, dependiendo del número de matrices que se emplean, en contraste a las semiautomáticas de las cuales en promedio se obtiene una producción de 10m²/h a 20m²/h en función al número de operarios. Ver tabla n.º 6.

Tabla n.º 6. *Producción por tipo de máquina*

Números de operarios	Tipo de máquina	Salario (Día)	Mensual	Anual	Producción
1	AUTOMÁTICA	31,67	950	13 300	40m ² /h a 70m ² /h*
1	SEMIAUTOMÁTICA	31,67	950	13 300	10m ² /h
1	SEMIAUTOMÁTICA**	31,67	950	13 300	20m ² /h

*Dependiendo del número de matrices caracol (uno o dos) que use la máquina la variación de productividad será como se muestra en la tabla.

** Máquina semiautomática más avanzada que la anterior con la cual solo se logra 10m²/h.

Fuente: Datos propios.

Las mallas tienen una dimensión de 2m de alto por 20m de largo (40m²); tal es así que, una malla se fabrica en promedio entre 2 a 4 horas en las máquinas semiautomáticas que es el promedio dependiendo del tipo de máquina semiautomática. Para que realicen los cálculos de índice de productividad se empleó un ciclo de 120 min por rollo de malla ciclónica de 2m de alto por 20m de largo (40m²), con solo un operario en el mejor de los casos.

Máquina semiautomática:

Dimensión – Producción.

- Tiempo base un: mes
- Ciclo: 120 min.
- Días útiles del mes: 26 días
- Turnos: 1
- Horas del turno de 1 operario: 8h
- Rollo de malla: 40m²

$$\text{Producción mensual} = \frac{\text{Tiempo base}}{\text{Ciclo}} \quad (2)$$

$$\text{Producción mensual} = \frac{(26 \frac{\text{día}}{\text{mes}})(1 \frac{\text{turno}}{\text{día}})(8 \frac{\text{horas}}{\text{turno}})(60 \frac{\text{min}}{\text{hora}})}{120 \text{ min}}$$

$$\text{Producción mensual} = 104 \text{ rollos de mallas/mes}$$

Comentario: Las máquinas semiautomáticas tiene una producción de 104 rollos por mes que hace un total de 42 120 S/. (Precio del rollo venta 405 S/.)

3.1.5.2 Productividad de la energía.

En cuanto al consumo de energía eléctrica de las máquinas estas aumentan dependiendo del tipo, si son semiautomáticas o automáticas, debido al número de motores trifásicos asíncronos que emplean, en la siguiente tabla n.º 7 se muestra el costo de consumo de energía eléctrica siendo de 7,5 hp de una máquina automática según las características técnicas del producto de un fabricante. Ver anexo 12.

Tabla n.º 7. *Costo de consumo de energía eléctrica*

Tipo de máquina	Potencia	Tarifa BT5B* Eléctrica (S/)	Consumo por 8 horas
Semiautomática	5,0 hp	0,5985 KW/h	17,86 S/
Automática	7,5 hp	0,5985 KW/h	26,80 S/

*Tarifa eléctrica de Hidrandina.

Fuente: Datos Hidrandina.

Cálculo de la productividad de la energía.

Números de malla 1 (rollo de 2mx20m).

Dimensión – Energía.

- Potencia 5 hp Tarifa eléctrica TB5T: 0,5960 Soles /KW-h
- Producción mes: 104 rollos de mallas.
- Días útiles del mes: 26 días.
- Jornal de 8 horas.

$$\text{Productividad de la energía} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumo de energía}} \quad (3)$$

▪ Máquina semiautomática:

$$\text{Productividad de energía} = \frac{4 \text{ rollos de mallas}}{(5 \text{ hp}) \left(\frac{0,746 \text{ Kw}}{1 \text{ hp}} \right) (8 \text{ h})}$$

$$\text{Productividad de energía} = 0,13 \text{ rollo de malla/Kw} \cdot \text{h}$$

Comentario: Se observa que este índice de productividad de energía es menor al de las máquinas automáticas (0,18 rollo de malla/Kw-h), esto significa que para obtener una malla ciclónica se necesitará consumir más energía (Kw-h) con una máquina semiautomática.

3.1.5.3 Productividad material.

Cálculo de productividad de material.

Dimensión- Material.

- Peso del insumo alambre usado calibre 12. 75 Kg
- Peso de malla de alambre (2mx20m) ciclónica n°12. 64 Kg
- Precio del Kg de alambre galvanizado n°12. 4,00 S/ - Kg

$$\text{Productividad material} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumo material}} \quad (4)$$

▪ Malla calibre n.°12.

$$\text{Productividad material} = \frac{1 \text{ rollo de malla}}{(75\text{Kg})}$$

$$\text{Productividad material} = 0,0133 \text{ rollo de malla por Kg.}$$

Comentario: Por cada Kg de alambre obtienen 0,0133 de rollo de malla; esto significa que, para mejorar la productividad material, con este tipo de máquina, este índice debe aumentar.

Se realizará la eficiencia física que es un índice en el cual se muestra las mermas en el proceso y el grado de eficiencia que se está obteniendo en el proceso actual.

3.1.5.4 Eficiencia física.

Indicador de materia prima (Eficiencia física).

- Peso de alambre usado calibre 12. 75 Kg
- Peso de malla de alambre (2mx20m) ciclónica n.°12. 64 Kg

$$\text{Eficiencia física} = \frac{\text{Peso del producto}}{\text{Peso de materia prima}} \quad (5)$$

▪ **Malla calibre n.º12.**

$$\text{Eficiencia física (malla calibre n.º12.)} = \frac{64 \text{ Kg}}{75 \text{ Kg}} \times 100\% = 85\%$$

Comentario: La merma es de 15% por cada rollo de malla ciclónica, con alambre galvanizado n.º12.

3.1.5.5 Productividad humana.

Se procederá a calcular la productividad de la mano de obra actual de la máquina semiautomática, la que puede fabricar 40m² de malla ciclónica en dos horas.

Cálculo productividad humano.

Dimensión – Humano.

- Horas por malla: 2 horas.
- Números de operadores: 1 operador.
- Jornal de: 8 horas.
- Mes 26 días.

$$\text{Productividad humano} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumo humano}} \quad (6)$$

$$\text{Productividad humano} = \frac{4 \text{ rollos de mallas}}{(1 \text{ hombre})(8 \text{ h})}$$

$$\text{Productividad humano} = 0,5 \text{ rollo de malla/h} - \text{h}$$

Comentario: De este índice se puede deducir que para poder obtener una malla ciclónica se deberá emplear dos horas hombre en la máquina semiautomática, porque en una hora solo produce el 50% de la malla.

3.1.5.6 Productividad global.

Como ya se calculó los valores de la productividad parcial, se procederá a calcular la productividad global.

Cálculo de producción global.

Dimensión – Producción global.

- Tarifa eléctrica: 0,5960/Kw-hora.
- Precio de rollo de malla de venta: 405 S/.
- Precio de Kg de alambre galvanizado n.º12: 4 S/.
- Costo jornal: 35 S/.
- Mes: 26 días.
- Turno: 8 horas.
- Capital: mantenimiento más depreciación de máquina por producto: 20 S/.
- Peso del alambre empleado: 75 Kg.

$$\text{Productividad global} = \frac{\text{Producción total}}{\text{Insumo total}} \quad (9)$$

$$\text{Productividad global} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumo}(\text{Energía} + \text{material} + \text{humano})}$$

$$\text{Productividad global} = \frac{(104)}{((5)(0,745)(8)(26)(0,5960) + (75)(26)(4)(4) + (35)(26))} = 0,0032 \text{ rollos de mallas por sol}$$

$$\text{Productividad global} = 0,0032 \text{ rollos de mallas por sol}$$

Comentario: Por cada sol gastado en insumo obtienen 0,0032 de rollo de malla fabricado.

3.1.5.7 Identificación de causas de baja productividad.

a) Aplicando el diagrama de Ishikawa:

Para que se pueda aumentar la productividad y poder cumplir con los clientes se realizó un análisis, empleando el "Diagrama de Ishikawa" causa – efecto, en la que se busca de encontrar la solución a la baja productividad en la empresa.

Se menciona baja productividad porque para que se dé esto, se debe de comparar una empresa con otra que realicen el mismo tipo de negocio, en este caso producción de mallas ciclónicas, en el que se pueda uno darse cuenta; hay muchas razones para esto, como la entrega de productos a tiempo, la calidad de sus productos, mejores pagos de salarios, mayor tecnología, así por muchas razones.

El problema de baja productividad podría deberse a varios factores como son:

- Métodos o procesos.
- Máquinas.
- Mano de obra.
- Incumplimiento de entrega al cliente.
- Materia prima.
- Medio ambiente.

A estos factores les corresponderían otros subfactores que lo veremos en el diagrama de Ishikawa. Ver figura 3.

Criterios para la evaluación de las posibles causas.

Para la realización de la matriz de evaluación de la tabla n.º 9 se tomó los siguientes criterios, que se reducen a preguntas más cortas para su aplicación en la tabla:

- 1) ¿Es un factor que lleva al problema? = ¿Es factor?
- 2) ¿Ocasiona directamente el problema? = ¿Causa directa?
- 3) ¿Se corregiría el problema? = ¿Solución directa?
- 4) ¿Se puede plantear una función factible? = ¿Solución factible?
- 5) ¿Se puede medir si la solución funciona? = ¿Es medible?
- 6) ¿La solución es de bajo costo? = ¿Bajo costo?

La ponderación de la tabla n.º 9 se realizó con el empleo de los procedimientos ya tratados en el presente estudio y con una valoración del 1 al 10. Ver tabla n.º 9.

Diagrama causa – efecto

Diagrama de Ishikawa

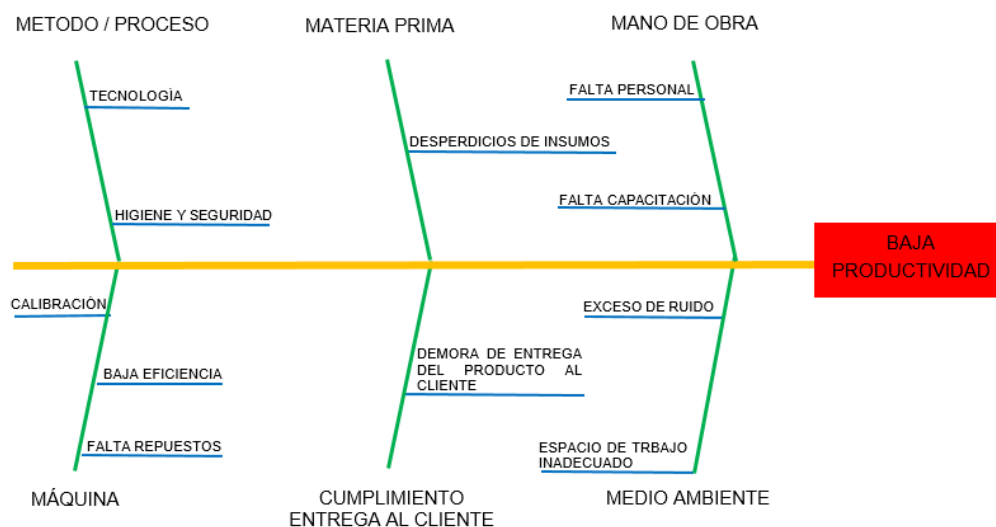


Figura 3. Identificación de causas de baja productividad.

Fuente: Elaboración propia.

❖ Posibles causas:

Método/Proceso.

➤ *Tecnología.*

La baja productividad se debe a que los procesos en la fabricación de mallas ciclónicas no están optimizados. La carencia de tecnología incrementa: las tareas dentro de los procesos, los tiempos en la ejecución de los procesos, se genera mayor merma de material y mayores costos en horas hombres.

➤ *Higiene y Seguridad.*

Las tareas repetitivas en el proceso de fabricación de mallas producen problemas ergonómicos y lumbares, provocando baja producción, productividad, ausencia del operario por descanso médico o rotación de personal, incrementando de esta manera los gastos.

Maquinaria.

- *Falta de repuestos.* Los repuestos de las máquinas en muchos casos son de procedencia externa, es decir, son importados y caros, pudiendo hacer demorar la reparación de algunos

equipos, disminuyendo y afectando el proceso de producción.

➤ *Calibración.*

Calibrar la máquina o ponerla a punto es una tarea que demanda paciencia, conocimiento y tiempo, debido a que se debe estar familiarizado en el trabajo del equipo, conocer el proceso y de esta manera hacerse bien para evitar paradas continuas.

➤ *Baja eficiencia.*

Demasiada merma en el proceso por error humano, menor producción y baja calidad en comparación a la máquina propuesta.

Mano de obra.

➤ *Falta de personal.*

En ocasiones se requiere de más operarios debido a la fluctuación de la demanda de pedidos; además, la máquina semiautomática necesita hasta dos operarios en esos momentos para cumplir con el cliente.

➤ *Falta de capacitación.*

La rotación de personal obliga a tener que estar capacitando a personas que luego se retiran de la empresa y esto hace que baje el ritmo de la producción.

Cumplimiento de entrega del producto al cliente.

➤ *Demora en la entrega del producto al cliente.*

Cuando no se puede cumplir con la demanda por sobrepasar la capacidad de la empresa, hace que el cliente vaya hacia la competencia y luego ya no vuelva.

Materia prima.

➤ *Desperdicio de insumo.*

La máquina semiautomática produce mucho desperdicio, debido a que parte del proceso deben de realizarlo de forma manual y sobre todo en el momento de ajustes y calibración.

Medio ambiente.

➤ *Espacio de trabajo inadecuado.*

La falta de espacio les produce incomodidad, lentitud para transitar, realizar las labores de producción y almacenamiento.

➤ *Exceso de ruido.*

El exceso de ruido produce incomodidad y hace que las personas se estresen con la consecuencia de una baja productividad.

❖ **Matriz de evaluación de las posibles causas.**

Se emplea la escala de calificación del 1 al 10, siendo el 10 el de mayor beneficio y 1 el de menos beneficios. Ver tabla n.º 8.

Tabla n.º 8. *Matriz de evaluación*

Causas	Soluciones	Criterios						Totales
MÉTODO / PROCESO	SOLUCIÓN	ES FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	BAJO COSTO	
TECNOLOGÍA	Adoptar nuevas tecnologías	10	10	9	9	10	9	57
HIGIENE Y SEGURIDAD	Rotar puestos para eliminar problemas ergonomicos	4	1	1	1	1	2	18
MAQUINARIA	SOLUCIÓN	ES FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	BAJO COSTO	
BAJA EFICIENCIA	Condiciones de máquinas de menor contaminación a automotrices	10	10	10	8	10	6	54
FALTA DE REPUESTOS	Stock de repuesto	7	7	5	10	10	8	47
CALIBRACIÓN	Plan de mantenimiento	6	4	4	5	10	7	36
MANO DE OBRA	SOLUCIÓN	ES FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	BAJO COSTO	
FALTA DE PERSONAL	Aumento de personal	3	2	2	2	4	3	16
FALTA DE CAPACITACIÓN	Capacitar al personal	3	2	2	2	2	2	12
ENTREGA DEL PRODUCTO AL CLIENTE	SOLUCIÓN	ES FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	BAJO COSTO	
DEMORA DE ENTREGA DEL PRODUCTO AL CLIENTE	Entregar el producto a tiempo	4	1	1	1	1	2	18
MATERIA PRIMA	SOLUCIÓN	ES FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	BAJO COSTO	
DISPERDICIO DE INSUMO	Eliminar el desperdicio de insumos	8	8	7	7	10	6	46
MEDIO AMBIENTE	SOLUCIÓN	ES FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	BAJO COSTO	
ESPACIO DE TRABAJO INADECUADO	Ampliar espacio de trabajo	2	2	2	2	1	2	11
EXCESO DE RUIDO	Uso de tapones	2	1	2	2	2	2	11

Fuente: Datos propios.

Como se muestra en la Matriz de evaluación de la tabla n.º 9, las causas que mayor puntuación alcanzaron como responsables de la baja productividad son: las de tecnología en Métodos y la de baja eficiencia en Maquinaria, con 57 y 54 puntos respectivamente, teniendo ambas estrechas relaciones con lo que respecta a la oportunidad de mejora, en la adquisición de nuevo equipo con mayor productividad, teniendo para esto que contarse con nueva tecnología.

b) Aplicando el diagrama de Pareto.

Para averiguar las causas en los cuales el 80% son responsables de la baja productividad de la empresa y que deben ser resueltas, se usó el diagrama de Pareto; para de esta manera, con los valores de la matriz de evaluación de la tabla n.º 9 realizado en el proceso de causas del diagrama de Ishikawa, se pueda determinar todas aquellas que conforman y se encuentran en este 80%. Ver tabla n.º 9 y figura 4.

Tabla n.º 9. *Datos para hacer el diagrama de Pareto*

Causas	Valoración	Porcentaje %	Acumulado	% Acumulado
Tecnología	57	17,33	57	17%
Baja eficiencia	54	16,41	111	34%
Falta de repuestos	47	14,29	158	48%
Desperdicios de insumos	46	13,98	204	62%
Calibración	36	10,94	240	73%
Higiene y seguridad	18	5,47	258	78%
Demora de entrega del producto	18	5,47	276	84%
Falta de personal	16	4,86	292	89%
Falta de capacitación	13	3,95	305	93%
Espacio de trabajo inadecuado	13	3,95	318	97%
Exceso de ruido	11	3,34	329	100%
TOTAL	329	100,00		

Fuente: Autoría propia.

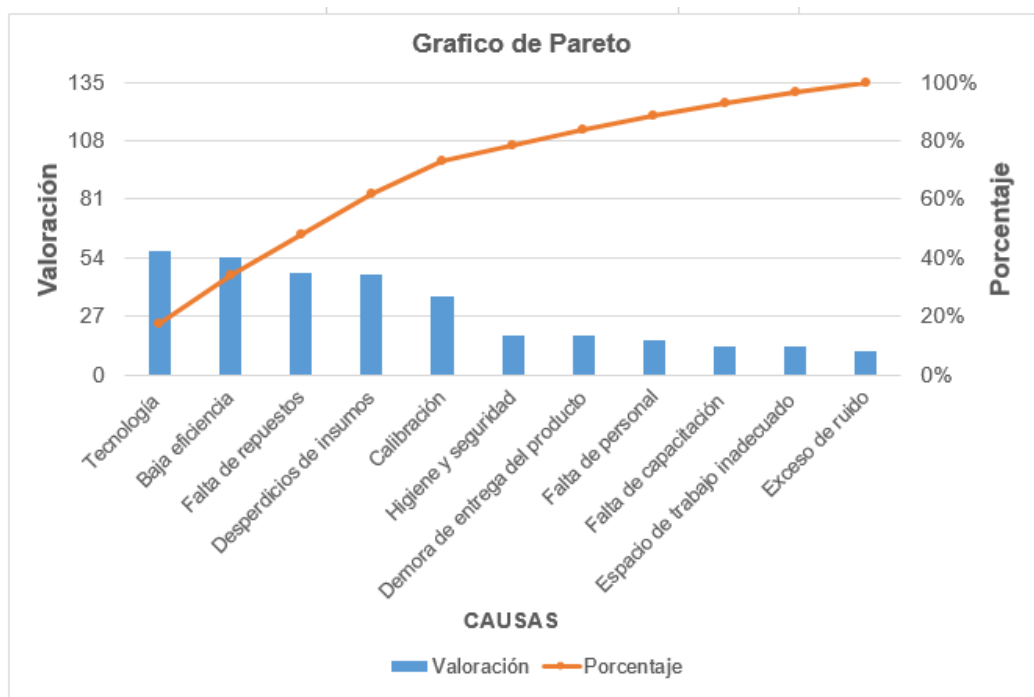


Figura 4. Gráfico de Pareto – Productividad.

Fuente: Autoría propia.

En este diagrama muestran las principales causas que provocan la baja productividad de la empresa que en este caso son seis. Se deben de resolver las principales causas (6) que les están provocando el 80% de la baja productividad de la empresa.

3.2 Diseño de la máquina con empleo de la ingeniería inversa.

Para que se realice una mejor elección de las características del producto a diseñar y fabricar se empleará la herramienta "Despliegue de la Función de Calidad" (FQD), que es muy usada en la ingeniería de la calidad, para que se calcule matemáticamente las características que deben incluir al diseñar la máquina. Con el uso de este método podrán discriminar las características que no aporten un valor a su diseño y compararla con la de la competencia pudiendo ver los aspectos a mejorar; de esta manera, cubrirán las necesidades de los clientes y sabrán lo que es más conveniente para el proveedor; de tal forma, que se realizará un análisis de las necesidades del proveedor, para que así, puedan fabricar una máquina acorde a las necesidades de ambas partes. Para tal efecto, se ha elaborado la Tabla n.º 10 que muestra las necesidades que priman en las características de la máquina, es decir, la lista de los Qué, estas necesidades lo obtuvieron del operario encargado de fabricar las mallas ciclónicas, del técnico de mantenimiento y del jefe de operaciones quien es la persona que tiene contacto con los clientes, realizado mediante entrevistas y del informe de observación de campo (ver anexos desde el 13 hasta el 17); para esto, han ponderado cada necesidad con valor de 1 al 5 siendo el 1 la más baja y 5 la más alta. Cuantificar las necesidades permitirá dar a la máquina las características y propiedades que al final de la fabricación debe de tener; para tal motivo, se ha realizado los requerimientos que cumplen con estas necesidades; es decir, la lista de los Cómo y su métrica. Ver tabla n.º 11.

Tabla n.º 10. *Cuadro de necesidades que debe de cubrir la máquina*

Nº	NECESIDADES	VALORACIÓN
1	QUE SEA MINIMA LA INTERVENCIÓN DEL OPERADOR	5
2	QUE SEA FACIL DE OPERAR	3
3	QUE SEA SEGURA PARA EL OPERADOR	4
4	QUE TENGA SISTEMA DETECTOR DE FALLA	2
5	QUE SEA DE FACIL MANTENIMIENTO	3
6	QUE SEA DE FACIL DESMONTAJE EL ROLLO DE MALLA FABRICADO	2
7	QUE TENGATABLERO DE CONTROL GENERAL	5
8	QUE PRODUSCA MINIMO RUIDO AL TRABAJAR	3
9	QUE SUENE UNA ALARMA DE FALLA	3
10	QUE SEA DE PRODUCCIÓN CONTINUA	5
11	QUE SE USE DE 220 DE VOLTAJE A 60HZ	3
12	QUE TENGA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MATRIZ	5
13	QUE PRODUZCA UN MINIMO DE 20 m ² POR HORA	3
14	QUE TENGA MODO DE OPERACIÓN MANUAL Y/O AUTOMÁTICA	4
15	QUE SEA DE MINIMA MERMA	3
16	QUE SE PUEDA EMPLEAR TODO TIPO DE CALIBRE DE ALAMBRE	5
17	QUE LOS COMPONENTES SEA DE SUMINISTRO NACIONAL	3
18	QUE SEA DE CONSUMO MINIMO DE ENERGÍA	4
19	QUE SEA ROBUSTA Y CUMPLA CON ESTANDARES DE CALIDAD	3
20	QUE SEA DE MINIMO IMPACTO AMBIENTAL	2
21	QUE SEA DE FACIL TRASLADO	3
22	QUE ESTE PROTEGIDO CONTRA LA CORROSIÓN	3

Fuente: Autoría propia.

Tabla n.º 11. *Necesidades, requerimiento y métrica (Cómo)*

Nº	NECESIDADES	REQUERIMIENTOS	MÉTRICA	UNIDAD
1	QUE SEA MINIMA LA INTERVENCIÓN DEL OPERADOR	PROCESO AUTOMATICO	% DEL PROCESO AUTOMATICO	%
2	QUE SEA FACIL DE OPERAR	INTERFAZ GRAFICA	SUBJETIVO	1 -10
3	QUE SEA SEGURA PARA EL OPERADOR	NORMA OSHAS 18001	SUBJETIVO	1 -10
4	QUE TENGA SISTEMA DETECTOR DE FALLA	SENSORES	CANTIDAD DE SENSORES	nº
5	QUE SEA DE DE FACIL MANTENIMIENTO	TÉCNOLOGIA MODULAR	CANTIDAD DE PIEZAS	nº
6	QUE SEA DE FACIL DESMONTAJE EL ROLLO DE MALLA FABRICADO	DESMONTAJE PRACTICO	TIEMPO	s
7	QUE TENGA TABLERO DE CONTROL GENERAL	CONTROL CENTRALIZADO	CANTIDAD DE CONTROLES	nº
8	QUE PRODUSCA MINIMO RUIDO AL TRABAJAR	AISLAMIENTO ACUSTICO	DECIBELIOS	dB
9	QUE SUENE UNA ALARMA DE FALLA	SISTEMA DE ALARMA	BINARIO	1 - 0
10	QUE SEA DE PRODUCCIÓN CONTINUA	MAQUINA DE CALIDAD	SUBJETIVO	1 -10
11	QUE SE USE DE 220 DE VOLTAJE A 60HZ	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	VOLTAJE	V
12	QUE LA MATRIZ SE MANTENGA A UNA TEMPERATURA INDICADA	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	TEMPERATURA	°C
13	QUE PRODUZCA UN MINIMO DE 20 m ² POR HORA	FUNCIONALIDAD	SUBJETIVO	1 -10
14	QUE TENGA MODO DE OPERACIÓN MANUAL Y/O AUTOMÁTICA	DOS MODOS DE USO	MODO DE USO	1 -2
15	QUE SEA DE MINIMA MIERMA	SISTEMA DE CONTROL	PESO	Kg
16	QUE SE PUEDA EMPLEAR TODO TIPO DE CALIBRE DE ALAMBRE	CILINDROS PARA ZIGZAGUEAR DIFERENTE MEDIDA	CAMNTIDAD DE CILINDROS	nº
17	QUE LOS COMPONENTES SEA DE SUMINISTRO NACIONAL	PIEZA NACIONALES	BINARIA	1 - 0
18	QUE SEA DE CONSUMO MINIMO DE ENERGÍA	EFICIENCIA ENERGETICA	ENERGÍA	Kw/H
19	QUE SEA ROBUSTA Y CUMPLA CON ESTANDARES DE CALIDAD	MATERIAL DE ALTA RESISTENCIA	DUREZA BRINELL	KgF
20	QUE SEA DE MINIMO IMPACTO AMBIENTAL	GESTIÓN AMBIENTAL	PORCENTAJE	%
21	QUE SE PUEDA FABRICAR VARIAS MEDIDAS DE ANCHO DE MALLA	TAMAÑO DE MAQUINA	METROS	m
22	QUE ESTE PROTEGIDA CONTRA LA CORROSIÓN	PROTEGIDO CON PINTURA ANTICORROSIVA	BINARIO	1 - 0

Fuente: Autoria propia.

En la tabla n.º 12 se puede observar la matriz de las relaciones entre las necesidades versus requerimientos de los clientes y proveedor, ponderándose en una relación fuerte con un valor de 9, moderado con el valor de 3 y débil con 1. Esto sirve para analizar y ver que necesidades son más importante para implementar.

Tabla n.º 12 *Análisis de los requerimientos (Cómo)*

ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS (COMOS)

	REQUERIMIENTO 1	REQUERIMIENTO 2	REQUERIMIENTO 3	REQUERIMIENTO 4	REQUERIMIENTO 5	REQUERIMIENTO 6	REQUERIMIENTO 7	REQUERIMIENTO 8	REQUERIMIENTO 9	REQUERIMIENTO 10	REQUERIMIENTO 11	REQUERIMIENTO 12	REQUERIMIENTO 13	REQUERIMIENTO 14	REQUERIMIENTO 15	REQUERIMIENTO 16	REQUERIMIENTO 17	REQUERIMIENTO 18	REQUERIMIENTO 19	REQUERIMIENTO 20	REQUERIMIENTO 21	REQUERIMIENTO 22
NECESIDAD 22	5																					
NECESIDAD 21	3																					
NECESIDAD 20	4																					
NECESIDAD 19	2																					
NECESIDAD 18	3																					
NECESIDAD 17	2																					
NECESIDAD 16	5																					
NECESIDAD 15	3																					
NECESIDAD 14	3																					
NECESIDAD 13	5																					
NECESIDAD 12	3																					
NECESIDAD 11	5																					
NECESIDAD 10	3																					
NECESIDAD 9	3																					
NECESIDAD 8	3																					
NECESIDAD 7	5																					
NECESIDAD 6	3																					
NECESIDAD 5	4																					
NECESIDAD 4	3																					
NECESIDAD 3	2																					
NECESIDAD 2	3																					
NECESIDAD 1	3																					
PONDERACIÓN ABSOLUTA	655	308	106	289	279	##	289	##	202	588	116	##	193	347	144	106	96	116	318	135	87	183
PONDERACIÓN REAL	12.3	5.81	2	5.4	5.3	4	5.4	5	3.81	11.1	2.2	5	3.63	6.53	2.7	2	1.81	2.18	6	2.54	1.63	3.4
IMPORTANCIA	1	5	19	7	9	11	6	8	12	2	18	10	13	3	15	20	21	17	4	16	22	14
VALORACIÓN TÉCNICA	%	1 a 10	1 a 10	#	#	s	#	dB	1 a 10	1 a 10	V	°C	1 a 10	2	Kg	#	1-0	Kw/H	Kg-f	%	m	1-0
NUESTRA MÁQUINA	35%	4	6	4	1	##	70	0	3	220	60	5	1	8	4	7	35	4	5	6	6	
LIMA	80%	8	8	8	1	##	70	3	8	380	40	9	2	5	9	6	56	8	5	8	9	
ESTRUCTURA Y MONTAJE JOSE GALVEZ SRL	50%	4	6	5	1	##	70	0	4	220	40	6	1	7	6	8	45	6	5	5	6	
OBJETIVO TÉCNICO	80%	8	9	8	3	##	60	4	8	220	40	8	2	4	9	9	50	8	3	4	8	

Fuente: Autoría propia.

Una vez que concluida el despliegue de calidad se empleara el diagrama de Pareto, para definir con exactitud que necesidades (Qué) y requerimientos (Cómo) se debe implementar, principalmente usando los pesos relativos de cada uno que obtuvieron en el despliegue de la calidad. Ver figura 5 y figura 6.

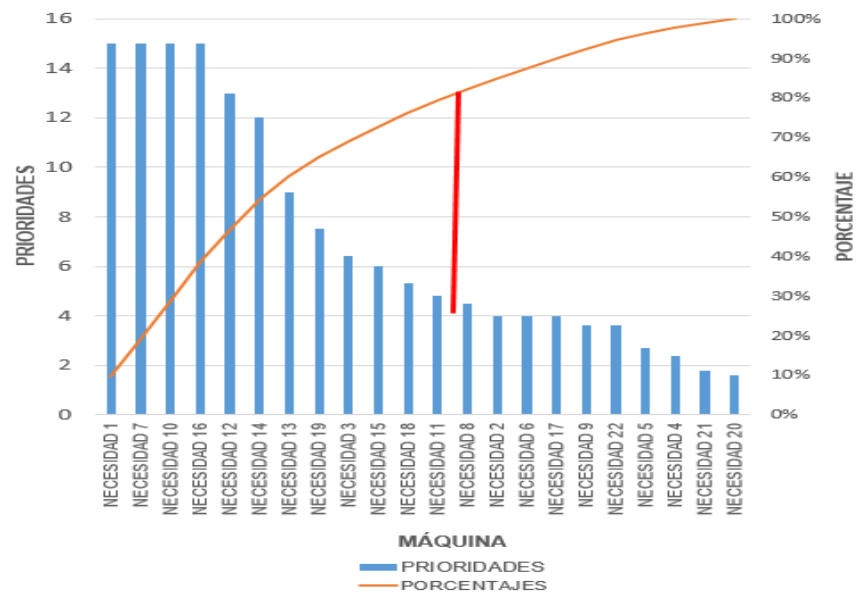


Figura 5. “Pareto de los “Qué”.

Fuente: Autoría propia.

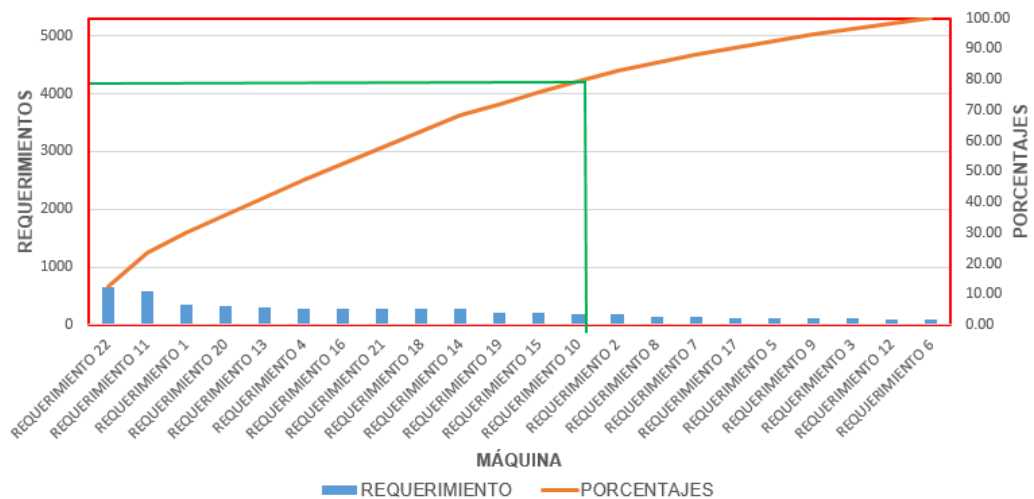


Figura 6. Pareto de los “Como”.

Fuente: Autoría propia.

En la Figura 7 muestran la matriz de las relaciones entre los “Cómo” o requerimientos pudiendo ser entre ellos positiva o negativa la relación.

RELACIÓN ENTRE LOS REQUERIMIENTOS (ENTRE LOS COMO)

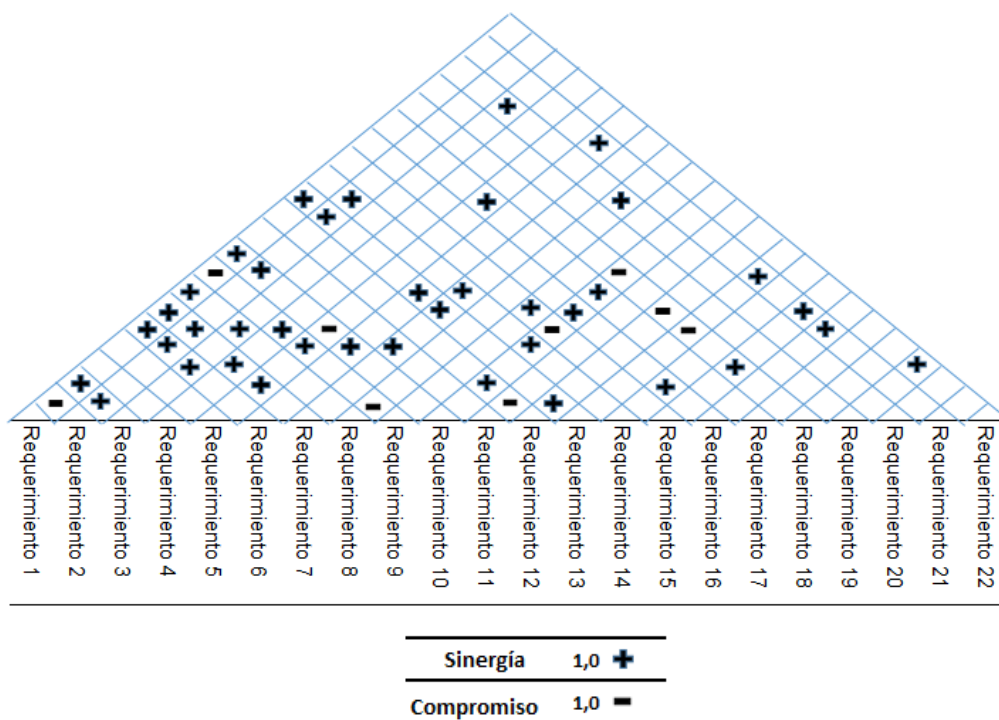


Figura 7. Relación entre los requerimientos (Entre los cómo).
 Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Diagrama de actividades

Se ha realizado un cronograma de actividades con el programa Gantt Project (ver Anexo n.º 10), donde se plasma las actividades a cumplir en tiempos determinados, el cual inicia con la compra de suministros, por la ejecución de las tareas de construcción y finalmente finaliza con el arranque de producción. Las fechas que se propone son tentativas actualizándose al momento del inicio de la primera actividad, que es la compra de suministros. Los imprevistos se marcan como demora en el Gantt, actualizándose continuamente para compensar los tiempos perdidos, con la finalidad de cumplir con la fecha de entrega de la máquina. Ver figura 8.

Untitled Gantt Project

Tarea	Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
	Compra de material fierro	15/07/19	17/07/19
	Compra de fierro en chubaca		
	Abilitar material	19/07/19	19/07/19
	Cortar, flet, doblar y encastrar		
	Solder chasis de matriz	20/07/19	23/07/19
	Hacer la placa chasis en la placa control y control motor		
	Montaje de componentes mecánicos y motor	24/07/19	25/07/19
	Montar ejes, chumaceras, motor y abilitar		
	abilitar material para sistema alimentador de alambre.	30/07/19	03/08/19
	Fabricar pulsera reguladora, bracket de polea, polea y desarmador. Pintar		
	Abilitar material fierro para chasis de tejido y enrollado	05/08/19	08/08/19
	Cortar fierro, doblar de fierro y encastrar		
	Armar chasis, soldar y pintar	10/08/19	15/08/19
	Montar componentes mecánicos, neumáticos y eléctricos	15/08/19	21/08/19
	Montaje de ejes, chumaceras, polea, y polea		
	Instalación de sistema eléctrico y configuración y programación.	21/08/19	23/08/19
	Montaje de sistema eléctrico y configuración del PLC y drive.		
	Puesta en marcha	24/08/19	26/08/19
	Inicio de producción en proceso		

Figura 8. Diagrama de actividades.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Diagrama de operación de proceso

Se presenta en la Figura 9 el diagrama de flujo del proceso de fabricación de la máquina automática ciclónica.

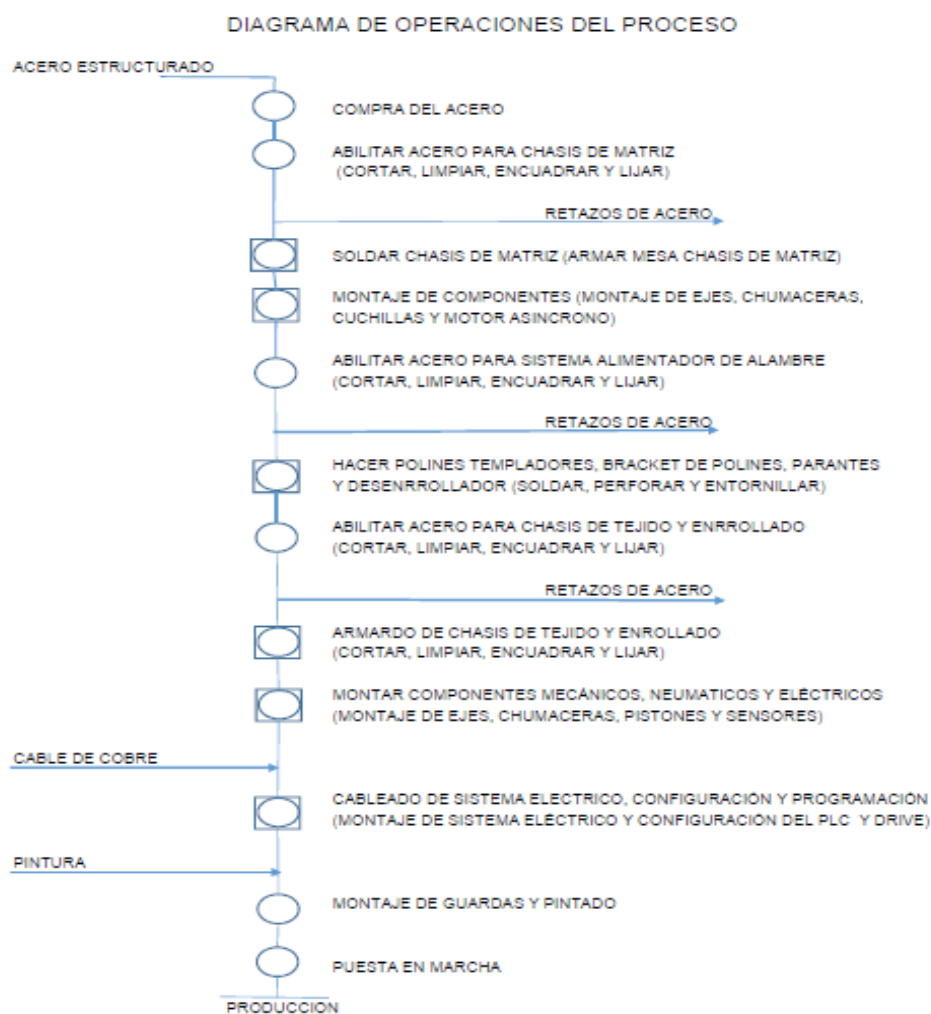


Figura 9. Operación de proceso de la fabricación de la máquina.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Diseño conceptual y funcional

Se emplea la técnica de Christopher Jones de la caja negra de funciones, la cual ayuda a identificar los componentes que se necesitan para el trabajo de la máquina. Ver figura 10.

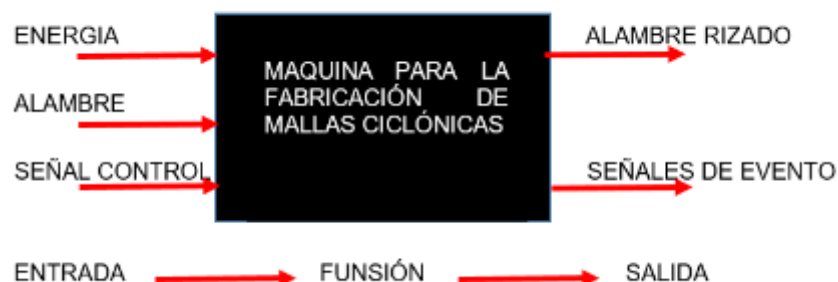


Figura 10. Caja negra.
Fuente: Autoría propia.

La máquina inicia su trabajo con el suministro de energía eléctrica y del alambre galvanizado de diferentes medidas; mientras tanto, la señal de control son las configuraciones y señales de manipulación. Como salida se tiene el alambre rizado y las señales de los diferentes eventos como fallos y finalizaciones de procesos.

3.2.4 Descomposición funcional

En la descomposición funcional (Figura 11) se muestra los sistemas necesarios para completar el proceso del trabajo de la malla ciclónica, pudiéndose de esta manera determinar qué elementos son necesarios para su fin y así obtener su diseño definitivo.

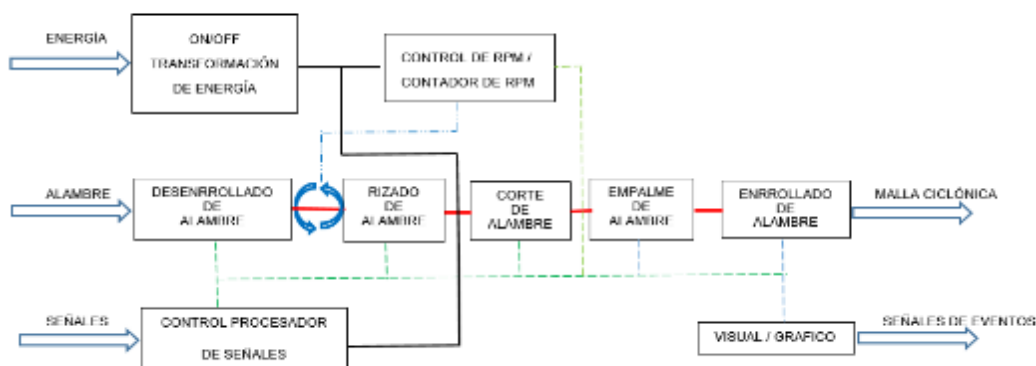


Figura 11. Descomposición funcional.
Fuente: Autoría propia.

3.2.5 Matriz morfológica

Este tipo de matriz (ver figura 12) son usados para escoger los componentes que podrán ser utilizados en los sistemas antes descritos en la descomposición funcional, combinarlos de tal manera de que puedan luego ser escogidos, dentro de los diseños obtenidos previa evaluación del mejor de ellos.

Portador Función	1	2	3	4	5	6
SUMINISTRO DE ENERGÍA	RED ELÉCTRICA	HIDRÁULICA	COMPRESOR AIRE	CELEDA SOLAR	BATERÍAS	
CONTROL DE RPM/CONTADOR DE ENERGÍA	DRIVE AC	DRIVE DC				
CONTROL PROCESADOR DE SEÑALES	PLC	CPU IND.	MICRO CONTROLADO	UNIDAD TERMINAL REMOTA		
DESARROLLADOR DE ALAMBRE	VERTICAL	HORIZONTAL				
REZADO DE ALAMBRE	MOTOR 3-AC	MOTOR 2-AC	MOTOR CC	MOTOR PASO A PASO	SERVO MOTOR	
CORTE DE ALAMBRE	ACTUADOR ELÉCTRICO	ACTUADOR NEUMÁTICO	ACTUADOR HIDRÁULICO	ACTUADOR ELECTRÓNICO	ACTUADOR MECÁNICO	
EMPALME DE ALAMBRE	ACTUADOR ELÉCTRICO	ACTUADOR NEUMÁTICO	ACTUADOR HIDRÁULICO	ACTUADOR ELECTRÓNICO	ACTUADOR MECÁNICO	
REALIZAR NUDO	ACTUADOR ELÉCTRICO	ACTUADOR NEUMÁTICO	ACTUADOR HIDRÁULICO	ACTUADOR ELECTRÓNICO	ACTUADOR MECÁNICO	
ENTORILLADO DE ALAMBRE	MOTOR 3-AC	MOTOR 2-AC	MOTOR CC	MOTOR PASO A PASO	SERVO MOTOR	
VISUAL / GRÁFICO	LED	7-S	VISUALIZADOR DE MATRIZ	VISUALIZADOR DE SEGMENTO	VISUALIZADOR ELÉCTRICO MAGNÉTICO	
SENSORES	MECÁNICO	ULTRA SÓNICO	INDUCTIVO	CAPACITIVO	FOTO OPTICA	ENCODER

Idea 1: → Idea 2: → Idea 3: →

Figura 12. Matriz morfológica.

Fuente: Autoría propia.

Aquí se muestran los componentes que pueden desempeñar cada subfunción, con el objetivo que las 3 ideas presentadas se combinen los elementos de cada función, para que obtengan una variedad de diseños del equipo.

Explicación de las ideas en la Matriz Morfológica:

Aquí se muestran las tres ideas que se inician con la propuesta de un suministro de energía de corriente alterna de una red pública, que es común y más accesible en nuestro medio, para luego, en las ideas 1 y 2 optar por el uso de un AC DRIVE controlador de las RPMs de motores asíncronos; mientras tanto, la idea 3 propone un DC DRIVE que controla la velocidad de los motores de corriente continua.

En la selección de controladores procesadores de señales, la idea 1 elige un micro controlador que es común en nuestro medio, en la idea 2 se optan por un PLC modular industrial, el que podría ser Allen-Bradley o Siemens, mientras que en la idea 3 se escoge un PLC industrial.

En la selección de un desenrollador de alambre, la idea 1 y 2 se inclinan al uso del horizontal, mientras la idea 3 apuesta por el vertical. En estos componentes se debe de tener en cuenta el peso de la carga a soportar y la facilidad para que carguen el rollo de alambre.

Se ha seleccionado para las ideas 1 y 2 motores asíncronos, para la idea 3 motor de corriente continua para realizar la función de rizado y enrollado, siendo más económico y comercial los motores asíncronos; además, recordar que se ha elegido previamente los controladores de RPM respectivamente para el motor de rizado siendo este de CA o CC.

En la selección de los actuadores de corte, empalme y nudo para idea 2 se escogió el de pistones neumáticos, para las ideas 1 y 3 se eligió el mecánico, siendo este último actuador más robusto que los pistones neumáticos, pero menos prácticos para reparaciones o cambios de ubicación de trabajo al fabricar diferentes medidas de altura de mallas.

En cuanto al visual gráfica se ha elegido para las ideas 1 y 2 la pantalla LCD, para la idea 3 la pantalla gráfica LED, habiendo en el mercado ambas a diferentes precios; por último, se eligió los tipos sensores para las ideas 1 y 2 siendo los inductivos y mecánicos para el control, a la idea 3 solo se eligió el mecánico. La combinación del trabajo de los diferentes sensores ayuda al control de la secuencia del proceso de fabricación de mallas ciclónica.

Se hace saber que parte del proceso del desarrollo de esta matriz morfológica ha sido la revisión de los diversos formatos de los fabricantes, en las cuales las características se han tomado en cuenta, para esta matriz; también, se observó las diferentes características de los diversos videos que se muestran en Internet, abstrayendo lo más resaltantes para el desarrollo del proyecto, como son el tamaño de la máquina, tipo de accionamientos, características estructural, tipos de actuadores, secuencias de trabajo,

características del motor eléctrico, seguridad industrial en la máquina y el tipo de control electrónico por mencionar algunos; todo esto, sirve para también escoger las variables más adecuadas en su diseño sin que se desvíen de la viabilidad y costos.

3.2.6 Selección de ideas

Empleando el método de matriz de selección (ver figura 13 y figura 14) se determina cual idea es la más apropiada para la implementación, basado a las necesidades del usuario y su viabilidad. Además, tomado en cuenta los tres aspectos importantes para esta selección que son:

- a) Costos
- b) Mantenimiento
- c) Eficiencia

Para la interpretación de la matriz de ideas se otorgó para la necesidad significativa el símbolo (+) con valor 1, para insignificativa el símbolo (-) con valor -1 y para expresar indistinto el símbolo (=) con valoración 0. Se pudo también, valorar del 1 al 3 siendo el 3 el de significancia, 2 el indistinto y 1 la insignificativa, obteniéndose el mismo resultado.

Es por esta razón por lo de arriba ya mencionado que en la figura 13 se restan los resultado de la suma de los positivos con la repuesta de la suma de los negativos, obteniéndose la idea 2 como la más apropiada.

NECESIDADES	IDEA 1	IDEA 2	IDEA 3
QUE SEA MINIMA LA INTERVENCIÓN DEL OPERADOR	+	+	+
QUE SEA FACIL DE OPERAR	-	-	+
QUE SEA SEGURA PARA EL OPERADOR	=	-	=
QUE TENGA SISTEMA DETECTOR DE FALLA	+	+	=
QUE SEA DE DEFACIL MANTENIMIENTO	+	+	+
QUE SEA DE FACIL DESMONTAJE EL ROLLO DE MALLA FABRICADO	=	-	=
QUE TENGATABLERO DE CONTROL GENERAL	+	+	+
QUE PRODUCA MINIMO RUIDO AL TRABAJAR	+	+	+
QUE SUENE UNA ALARMA DE FALLA	+	+	+
QUE SEA DE PRODUCCIÓN CONTINUA	+	+	=
QUE USE DE 220 DE VOLTAJE A 60HZ	+	+	+
QUE TENGA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MATRIZ	=	+	+
QUE PRODUZCA UN MINIMO DE 20 m2 POR HORA	+	+	+
QUE TENGA MODO DE OPERACIÓN MANUAL Y/O AUTOMÁTICA	-	+	=
QUE SEA DE MINIMA MERMA	-	=	-
QUE SE PUEDA EMPLEAR TODO TIPO DE CALIBRE DE ALAMBRE	+	+	+
QUE LOS COMPONENTES SEA DE SUMINISTRO NACIONAL	=	=	-
QUE SEA DE CONSUMO MINIMO DE ENERGÍA	-	-	-
QUE SEA ROBUSTA Y CUMPLA CON ESTANDARES DE CALIDAD	-	-	-
QUE SEA DE MINIMO IMPACTO AMBIENTAL	+	+	-
QUE SEA DE FACIL TRASLADO	=	-	-
QUE ESTE PROTEGIDO CONTRA LA CORROSIÓN	+	+	+

Figura 13. Matriz de selección de ideas-
Fuente: Autoría propia.

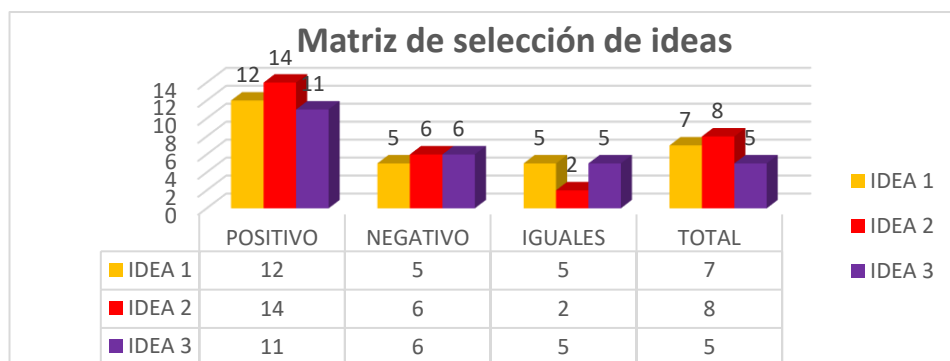


Figura 14. Comparación gráfica de las ideas propuestas.
Fuente: Autoría propia.

3.2.7 Comparación de ideas

En la matriz de ideas se observa que son dos ideas las que sobresalen y estas son las idea 1 y la idea 2, siendo la idea 2 de la mejor opción para la empresa, cumpliendo la idea 2 con las necesidades y requerimientos antes evaluadas; además, tomando en cuenta la viabilidad y la economía.

3.2.8 Características y especificaciones de la idea 2

Debe de cumplir con los requisitos ya mencionados, como son: de fácil adquisición nacional, costo asequible, fácil mantenimiento y ser robustos para el uso industrial entre otras. (Ver tabla n.º 13).

Tabla n.º 13. Características /Especificaciones

IDEA 2	
REQUERIMIENTO	ESPECIFICACIÓN
SUMINISTRO DE ENERGÍA	RED ELÉCTRICA PÚBLICA
CONTROL RPM/CONTADOR RPM	DRIVE AC
CONTROL PROCESADOR DE SEÑALES	AUTOMATA PROGRAMABLE/PLC
DESENROLLADOR DE ALAMBRE	HORIZONTAL
RIZADO DE ALAMBRE	MOTOR AC
CORTE DE ALAMBRE	ACTUADOR NEUMÁTICO
EMPALME DE ALAMBRE	ACTUADOR MECÁNICO
REALIZAR NUDO	ACTUADOR NEUMÁTICO
ENROLLADOR DE ALAMBRE	MOTOR AC
VISUAL / GRÁFICO	LCD
SENSORES	INDUCTIVO / MECÁNICO

Fuente: Autoría propia.

3.2.9 Diseño de la idea 2 seleccionado

Se inicia con el cálculo de la platina y caracol, ya que estos dos elementos son las matrices formadoras de los eslabones; para que luego, se realice el cálculo del motor y ejes. Después de esto, se continuará con los demás componentes.

3.2.10 Platina matriz de arrastre.

Para realizar el cálculo de la platina se hace uso de los datos del anexo 5 para obtener el diámetro del alambre n°10 galvanizado, y del anexo 6 para saber la resistencia de tracción.

El diámetro del alambre n° 10 es: 3,40 mm

σ : 485 MPa

El área de la sección del alambre según la fórmula:

$$A = (D/2)^2 \times (3,1416) \quad (10)$$

$$A = 9,08 \text{ mm}^2$$

Se calculará la fuerza que realizará la platina para dar forma al alambre, a partir de la fórmula del esfuerzo de fluencia:

$$\sigma = F/A \quad (11)$$

σ : 485 MPa.

A: Área.

F: Fuerza.

Despejando F y empleando los datos de esfuerzo y área se obtiene:

$$F = \sigma \cdot A$$

$$F = 485 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} (9,08 \text{ mm})^2$$

$$F = 4\,403,8 \text{ N}$$

3.2.11 Fuerza de tracción del alambre.

Bajo las características de las normas SAE 1006, 1008, 1010 y 1015 se obtiene el valor de la resistencia a la tracción en el anexo 18, donde se muestra la resistencia a la ruptura del alambre galvanizado de 50Kg-f/mm² como mínimo y a 70 Kg-f/mm² como máximo, y estos valores son equivalentes al mínimo en 490,3 MPA y 686,4 MPA al máximo respectivamente.

Se consideró 485 MPA para fines de cálculo (ver anexo 6), siendo este valor inferior al valor de 490,3 MPA de la resistencia a la tracción mínima según la norma antes señalada, esto es con la finalidad de evitar la fractura del alambre y solo pueda darse forma.

3.2.12 Fuerza resultante total en la platina

La fuerza que se ejercerá sobre la platina vendría a ser la fuerza total ejercida sobre esta, debido a que se calculó mediante el esfuerzo de fluencia, con las consideraciones antes explicadas. Por lo tanto:

$$F_T = F$$

$$F = 4\,403,8\text{N}$$

F_T : Fuerza total.

F : Fuerza calculada mediante el esfuerzo de fluencia.

3.2.13 Dimensión de la platina de arrastre.

En la siguiente figura 15 se muestra una cocada de malla en las dimensiones de 50 mm por 50 mm de eslabón, que permitirá el cálculo de la altura de la platina.

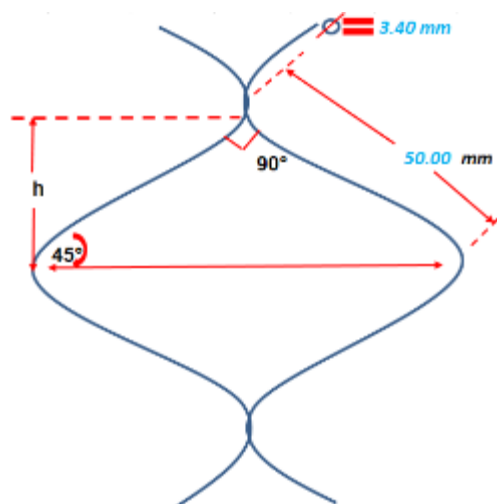


Figura 15. Cocada de eslabón.

Nota: Cocada de eslabón de 50mm x 50mm

Fuente: Autoría propia.

De este gráfico se obtiene:

$$\text{Sen}45 = \frac{H}{50} \quad (12)$$

$$H = (50\text{mm}) (\text{Sen}45)$$

$$H = 35,35\text{mm}$$

La platina tendrá las siguientes medidas:

Longitud: 500 mm

Altura: 35,35 mm

Espesor: 5 mm

La platina tendrá 500 mm de longitud para poder facilitar el acercamiento del eslabón hacia la cizalla de corte, y poder dar un espacio suficiente para el acople en los intercambios de platina con el eje impulsor (Ver figura 16). Se fabricará de acero tipo AISI 304 con módulo de elasticidad de 210 000 GPa. Ver anexo 7.



Figura 16. Platina y matriz.

Fuente: Autoría propia.

3.2.14 Deformación y desgaste de la platina.

Como se muestra en la figura 16 la platina de 500 mm de longitud solo está en contacto parte de esta con el caracol o matriz, teniendo la misma una longitud de 224 mm, siendo esta parte la que estará expuesta al rozamiento y deformación. Ver figura 17.

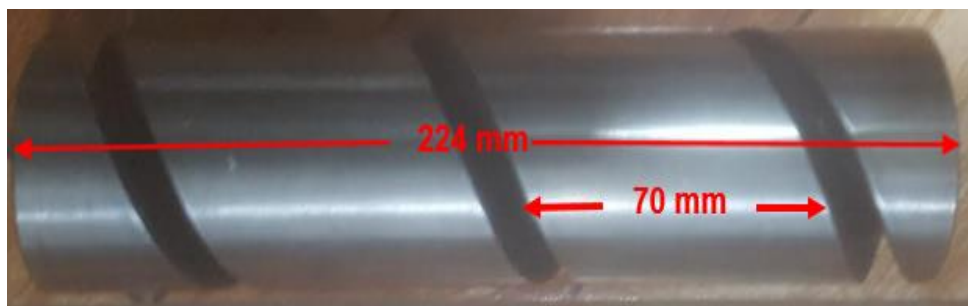


Figura 17. Matriz o Caracol.

Fuente: Autoría propia.

A la platina no se aplicará algún proceso de endurecimiento, como el tratamiento térmico, debido a que este elemento es de menor cuantía en comparación al caracol o matriz, que sí se le aplicará un tratamiento térmico para su mayor duración y evitar un desgaste prematuro por rozamiento y deformación.

Con la siguiente formula se calculará la deformación mediante la ecuación:

$$d = \frac{FL}{EA} \quad (13)$$

d : Deformación.

F : Fuerza aplicada.

L : Longitud del elemento.

E : Modulo de elasticidad.

A : Sección de platina.

Por lo tanto, tengo:

$$\delta = \frac{(4.403,8\text{N})(224\text{mm})}{\left(\frac{210.000\text{N}}{\text{mm}^2}\right)(35,35\text{mm} \times 5\text{mm})}$$

$$\delta = 0,02657\text{mm}$$

3.2.15 Diseño de matriz o caracol

En base a las medidas de la platina de arrastre de diámetro interno de 36 mm y el externo de 56 mm se calcula el espesor de la matriz:

$$e = \frac{z \text{ diametro mayor} - z \text{ diametro menor}}{2} \quad (14)$$

$$e = \frac{56\text{mm} - 36\text{mm}}{2}$$

$$e = 10\text{mm}$$

Concordando las medidas calculadas y halladas tanto de la platina como el de la matriz, de sus medidas físicas, donde se demuestra que de ambas partes se puede obtener de forma práctica o empírica el paso de la ranura de la matriz para malla de eslabón de 50 mm por 50 mm. También se menciona, que la matriz se fabrica de acero para herramientas NC10-NC6 muy resistentes al desgaste por fricción, para trabajos en frío y con un gran espesor periférico, y endurecido por proceso térmico con la finalidad de que tenga mayor resistencia; además, este tipo de material no sufre deformación durante el proceso de endurecimiento.

Por lo tanto, visto la figura 16 se determina que el paso es de:

P: Paso de ranura de matriz.

$$P=70\text{ mm}$$

3.2.16 Cálculo de la potencia de motor.

Para que se realice el cálculo de la potencia del motor, se debe de calcular la velocidad angular o lineal que produce el motor que se empleará, en el DAP de la situación actual en la figura 6 se puede obtener el tiempo que toma la máquina para realizar un eslabón que componen una malla tejida, que son de 2m de alto por 20m de largo con alambre galvanizado n°10 de 3,25mm; por lo tanto, se puede ya calcular la velocidad lineal que será:

$$V = \frac{e}{t} \quad (15)$$

$$V = \frac{2m}{6,5s}$$

$$V = 0,31m/s$$

Con la fuerza y la velocidad se calcula la potencia del motor:

$$P = F.V \quad (16)$$

$$P = (4\,003,8N) \left(\frac{0,31m}{s} \right)$$

$$P = 1\,365,18W$$

$$P = (1\,365,18W) \left(\frac{1HP}{746W} \right)$$

$$P = 1,83HP$$

La potencia resultante es de 1,83 HP que realizará el trabajo que deforme el alambre galvanizado, siendo esta potencia no comercial en el mercado, debiéndose que usar motor trifásico asíncrono de 2 HP comercial, de factor de servicio (FS) de 1, de 220 de voltaje de alimentación, corriente nominal de 5,23 A, 3 600 RPM, de aislamiento clase A y del tipo de protección IP55. Este motor puede ser de la marca nacional Delcrosa, de lo contrario los importados Siemens o BBC diseñado para trabajar de forma horizontal y que cumpla con las características arriba mencionadas.

3.2.17 Cálculo del eje de transmisión

Este eje se encargará de transmitir la potencia del motor a la platina de arrastre del caracol haciéndolo rotar; por lo tanto, la fuerza que necesita para dar forma al eslabón será la misma o igual al del eje de transmisión, este eje estará sometido a constante esfuerzo cortante y momentos flectores.

Para calcular el eje se emplea la "Teoría de la Falla por distorsión de la energía" (Teoría de Von Mises), tomando en cuenta que esto se realiza para cálculo de ejes cortos y que giran transmitiendo movimientos, generando esfuerzos de torsión constante y esfuerzo de flexión variable (Esfuerzos invertidos).

Para este eje se emplea el acero C1020 recocido, con una polea acanalada cuyo diámetro será de 20 cm acoplada por faja a un motor de 2 HP (1 492 KW) y de 1 800 RPM que tiene montada sobre su eje una polea acanalada de 10 cm de diámetro, y el eje estará sometido a una temperatura mayor a 200° C y se diseña para una confiabilidad funcional del 92%.

Características mecánicas del acero C1020 (Ver Anexo 10):

Resistencia de fluencia: S_y : 2 952 Kgf/cm²

Resistencia máxima de tracción: S_u : 4 007 Kgf/cm²

Dureza Brinell: BHN: 111

Cálculo del límite y resistencia a la fatiga del material para acero. Ver ecuaciones 17 y 18

$$S'_n = 0,5 S_u \quad (17)$$

S'_n : Límite de fatiga.

S_u : Límite de rotura.

$$\Rightarrow S'_n = 0,5 (4\,007 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}^2)$$

$$\therefore S'_n = 2\,003,5 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}^2$$

$$S_n = C_b \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_o \cdot S'_n \quad (18)$$

S_n : Resistencia a la fatiga.

C_b : Factor de corrección por temperatura.

C_s : Factor de corrección por superficie.

C_r : Factor de confiabilidad funcional.

C_o : Factor de corrección por esfuerzo residuales.

S_n: Limite de fatiga.

$$S_n = (0,6) (0,8) (0,92) (1) (2003,5 \text{ Kg/cm}^2)$$

$$S_n = 884,74 \text{ Kg/cm}^2$$

Calcular la velocidad del eje:

$$N_1.D_1 = N_2.D_2 \quad (19)$$

N₁: 1 800 RPM motor.

D₁: Diámetro polea motor = 10 cm.

N₂: RPM del eje.

D₂: Polea del eje = 20 cm.

$$D_2 = \frac{N_1.D_1}{N_2}$$

$$N_2 = \frac{N_1.D_1}{D_2}$$

$$N_2 = \frac{(10\text{cm})(1800\text{RPM})}{20\text{cm}}$$

$$N_2 = 900\text{RPM}$$

Cálculo del torque de la transmisión, donde la polea del eje recibe toda la potencia del motor y la transfiere a la platina:

$$T = KW.974/n \quad (20)$$

T: Torque de transmisión.

KW: Potencia del motor.

n: RPM

$$T = (1,5\text{KW}) (974) / 900\text{RPM}$$

$$T = 1,63\text{Kg-f-m}$$

Diseño de los elementos transmisores de potencia, rodamiento y su ubicación sobre el eje.

Para evitar el movimiento axial se maquinará hombros y ranuras para colocar retenes; de esta manera se forma la geometría del eje como la figura 18.

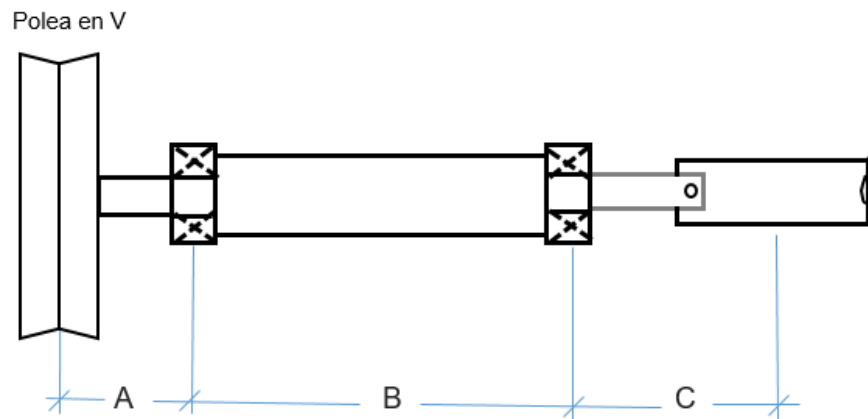


Figura 18. Diseño del eje de transmisión.
Fuente: Autoría propia.

Como se señala, el eje tendrá dos soportes que son las dos chumaceras que estarán lo más próximo a las cargas, proporcionan soporte estable al eje; además, las fuerzas son simétricas siendo la longitud del eje lo más corto posible para evitar momentos flectores.

Ahora se procede a calcular las fuerzas tangenciales y radiales sobre el eje. La polea la nombrará como el punto A y la platina como el punto B; mientras las chumaceras o rodamientos como los puntos 1 y 2 respectivamente.

Polea punto “A”:

$$F_{tA} = T / (D/2) \quad (21)$$

F_{tA} : Fuerza tangencial en A.

T: Torque.

D: Diámetro de la polea.

$$F_{tA} = 1,63 \text{ Kgf-m/0,10m}$$

$$F_{tA} = 16,3 \text{ Kgf}$$

La fuerza de flexión en el eje es:

$$F_t = C \cdot F_t \quad (22)$$

F_f : Fuerza tangencial.

C : Constante para correa trapezoidales 1,5.

F_t : Fuerza tangencial.

$$F_f = 1,5 F_t$$

$$F_{fA} = 1,5 (16,3 \text{ Kgf})$$

$$F_{fA} = 24,45 \text{ Kgf}$$

Platina punto "B":

También, se tiene en cuenta que la fuerza ejercida por el eje transmisión será la misma de la platina de arrastre; por lo tanto, si las distancias entre la polea, las chumaceras y la platina son como se muestra en el diagrama de cuerpo libre (DCL), las fuerzas sobre el eje serán simétricas. Ver figura 19.

Entonces, la fuerza de flexión en el punto B será igual a la fuerza encontrada del punto B de este diseño.

$$F_{fB} = 24,45 \text{ Kgf}$$

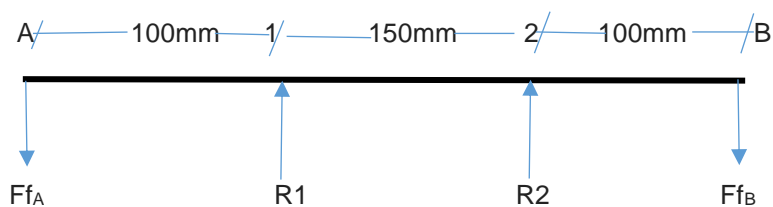


Figura 19. Diagrama de cuerpo libre.

Fuente: Autoría propia.

Ahora se puede calcular las reacciones en las chumaceras de apoyo R1 y R2 tomando como referencia el DCL:

$$\sum F = 0$$

$$F_{Fa} + R_1 + R_2 + F_{fB} = 0$$

$$-24,45 \text{ Kg-f} + R_1 + R_2 - 24,45 \text{ Kg-f} = 0$$

$$R_1 + R_2 = 48,9 \text{ Kg-f}$$

Momento en R₂:

$$\sum M = 0$$

$$F_{fA}(10 \text{ cm}) - F_{fB}(25 \text{ cm}) + R_2(15 \text{ cm}) = 0$$

$$R_2(15 \text{ cm}) = F_{fB}(25 \text{ cm}) - F_{fA}(10 \text{ cm})$$

$$R_2(15 \text{ cm}) = 24,45 (25 \text{ cm}) - 24,45 (10 \text{ cm})$$

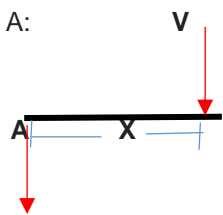
$$R_2 = 24,45 \text{ Kg-f}$$

Por simetría el:

$$R_1 = 24,45 \text{ Kg-f}$$

Ahora se calcula el momento resultante en cada punto del eje:

Punto A:



$$\sum F = 0$$

$$- F_{fA} - V = 0$$

$$- 24,45 - V = 0$$

$$V = -24,45 \text{ Kg-f}$$

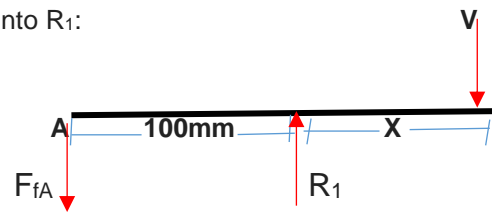
$$\sum M = 0$$

$$F_{fA}(X) + M = 0$$

$$M = -24,45X$$

Para: $X=0$ $M=0$

Punto R₁:



$$\sum F = 0$$

$$- F_{fA} + R_1 - V = 0$$

$$24,45 \text{ Kg-f} - 24,45 \text{ Kg-f} + V = 0$$

$$V = 0$$

$$\sum M = 0$$

$$24,45 \text{ Kg-f}(10\text{cm} + X) - 24,45 \text{ Kg-f}(X) + M = 0$$

$$M = -244,5 \text{ Kgf-cm}$$

Para: $X=0$ $M = -244,5 \text{ Kgf-cm}$

Por simetría:

$$M_{fA} = M_{fB}$$

$$\Rightarrow M_{fB} = 244,5 \text{ Kgf-cm}$$

y

$$M_{R1} = M_{R2}$$

$$\Rightarrow M_{R2} = -244,5 \text{ Kgf-cm}$$

Se calcula el diámetro del eje en los puntos F_{fA} , F_{fB} , R_1 y R_2 . Para esto emplearán la siguiente formula que es compatible con la norma ANSI B106.1M – 1985

$$d = \left[10,19 \text{ N} \left[\left(\frac{K_f M_{\max}}{S_n} \right)^2 + 0,694 \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3} \quad (23)$$

Para cada punto ya se realizó previamente el cálculo de las variables que necesita para efectuar la formula.

Punto A y B:

Por la característica de simetría que presenta el eje de transmisión, y tener los mismos valores de flexión y fuerza cortante en los puntos A y B, los valores que se obtenga en el siguiente cálculo será válido para ambos puntos.

Momento máximo ($M_{\max.}$) = 0

Momento Torsor $T = 163 \text{ Kgf} - \text{cm}$

$$d_{(A, B)} = 10,19 \text{ N} \left[0,694 \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$d_{(A, B)} = 10,19 (3) \left[0,694 \left(\frac{163}{2952} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$d_{(A, B)} = 1,12 \text{ cm}$$

Punto 1(R_1) y 2(R_2):

Momento torsor $T = 163 \text{ Kgf} - \text{cm}$

Momento Flector máximo $M_{\max} = -244,5 \text{ Kgf} - \text{cm}$

Para bordes redondeados $K_f = 1,5$

$S_y = 2952 \text{ Kgf} / \text{cm}^2$

$S_n = 884,74 \text{ Kg} / \text{cm}^2$

Factor de seguridad $N = 3$

$$d_{(R1, R2)} = 10,19 \text{ N} \left[\left(\frac{(3)(-244,5)}{884,74} \right)^2 + 0,694 \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$d_{(R1, R2)} = 10,19 (3) \left[0,694 \left(\frac{163}{2952} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$d_{(R1, R2)} = 2,94 \text{ cm}$$

Se obtiene como producto calculado lo siguiente:

Diámetros Calculados	Diámetros Estándar (in)
$d_{(A,B)} = 1,12 \text{ cm}$	$\frac{1}{2}'' \text{ in}$
$d_{(R1,R2)} = 2,94 \text{ cm}$	$1 \frac{1}{4}'' \text{ in}$

Se muestra en la figura 20 el eje calculado con sus dimensiones.

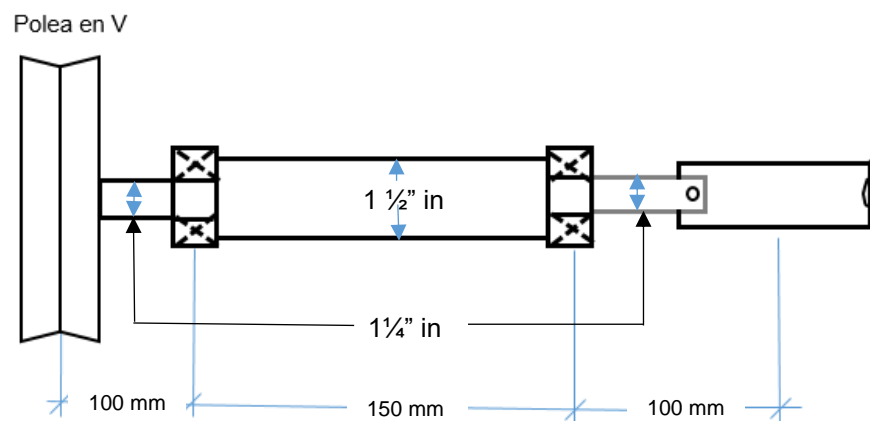


Figura 20. Eje Calculado.
Fuente: Autoría propia.

3.2.18 Sistema de corte del eslabón

En este sistema se emplea dos pistones neumáticos, que cumplan con los requerimientos de la Idea 2, que salieran escogidas en la matriz de ideas antes realizada. Ver figura 21.

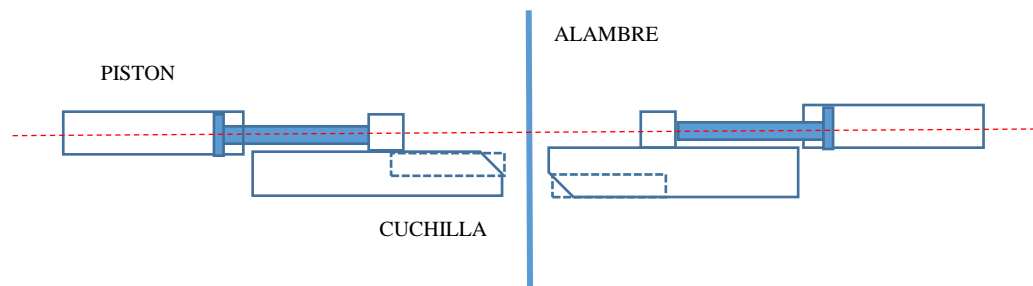


Figura 21. Cizalla para alambre.
Fuente: Autoría propia.

Se debe de tener la suficiente presión de aire para que los cilindros sean capaces de cizallar el alambre, por lo que la rotura mínima del alambre se obtiene de la siguiente tabla n.º 14:

Tabla n.º 14. *Carga de rotura mínima*

REQUERIMIENTOS		FÍSICOS-MECÁNICOS		DEL	ALAMBRE		
Diámetro nominal		Variación máxima permitida en el diámetro +/-		Carga de rotura mínima		Número mínimo de torsiones (en 200mm)	Capa de cinc mínimo
mm	pulg	mm	pulg	lbf	kgf	Vueltas	g/m²
1,016	0,040	0,025	0,001	0,001	142	57	80

Fuente: <http://www.emcocables.com/catalogos/cables.pdf>.

La carga de rotura mínima es 142 Kg-f y está en Newton es 1 392N:

$$\text{Carga Rotura Mínima (CR)} = 142\text{KgF} * \frac{9,8\text{N}}{1\text{KgF}} = 1392\text{N}$$

Por tanto, las características que debe de tener los cilindros neumáticos o actuadores de efecto simple, actuado por la fuerza neumática y con retorno mecánico por resorte, para realizar el trabajo de corte son las siguientes (ver tabla n.º 15):

Tabla n.º 15. Características de actuadores de corte

CARATERISTICAS DE LOS CILINDROS DE CORTE	
Diámetro de vástago.	20 mm
Diámetro de embolo.	50 mm
Carrera de vástago.	50 mm
Presión de servicio.	90 psi

Fuente: Autoría propia.

En los cilindros de efecto simple se considera que el resorte tiene una fuerza opositora de 10% al 15% al desplazamiento del embolo; además, una fuerza también contraria de rozamiento que varía entre 5% al 20%; por tanto, la fuerza real calculada:

$$F_{Real} = F_r + F_m + F_t$$

$$\text{Fuerza de rozamiento } (F_r) = 111,38\text{N}$$

$$\text{Fuerza del resorte } (F_m) = 139,2\text{N}$$

$$\text{Fuerza teorica } (F_t) = 1392\text{N}$$

$$F_{Real} = 111,38 + 139,2 + 1392 = 1642,58$$

Para hallar la presión de trabajo se tiene:

$$P_{Trabajo} = \frac{F_{Real}}{S_{Superficie, Embolo}} \quad (24)$$

$$S_{Superficie, Embolo} = \frac{\pi}{4} \times (D_{Embolo})^2$$

$$P_{Trabajo} = \frac{1642,58\text{N}}{1,9635 \times 10^{-3} \text{m}^2}$$

$$P_{Trabajo} = 836.557\text{Pa} = 8,3\text{Bar} = 121,33\text{PSI}$$

La presión de trabajo de todo el sistema y de los cilindros será de 121,33 PSI.

3.2.19 Sistema de doblado de terminales

Para doblar los extremos de los terminales se emplea varios tipos de diferentes mecanismos, tanto mecánicos y neumáticos, como se muestra en los videos de este tipo de maquina ciclónica en internet (ver anexos 18 y anexo 19); en vista que, el resultado elegido en la matriz de idea fue la proposición idea 2, y en ella se solicita implementación neumática de este sistema, se calcula los valores de fuerza y presión que se requiere para asegurar la confiabilidad del trabajo de la máquina.

A continuación, se muestra en la figura 22 uno de los mecanismos neumáticos de doblado de terminales con su respectivo pistón, que lleva en ambos extremos de la máquina.

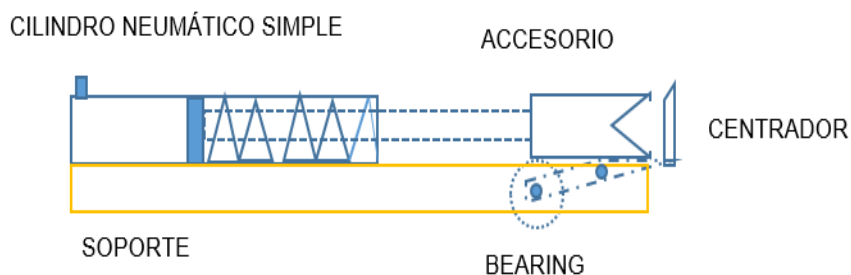


Figura 22. Doblador de terminales.

Fuente: Autoría propia.

Se procede a calcular la sección del alambre de calibre 4 A.W.G., por ser un alambre considerablemente grueso, que tiene un diámetro de 5.89 mm, aunque no es comercial para hacer mallas ciclónicas. Se multiplicará por 2 considerando los dos extremos o puntas que se doblan en cada extremo.

$$A_{\text{Alambre}} = 2 * \pi * r^2 \quad (25)$$

$$A_{\text{Alambre}} = 2 * \pi * \left(\frac{5,89}{2}\right)^2 = 54,4943\text{mm}^2$$

Se tomará el valor de 2,8KgF/mm² de la tabla n.º 16, que es la resistencia de flexión, a la que aumentarán un 25% en el cálculo para garantizar los dobles o la deformación de los extremos de los alambres.

Tabla n.º 16. Resistencia de flexión y tensión

RESISTENCIA DEL ALAMBRE	
Designación de resistencia	MPa (kgf/mm ²)
Tensión	0,019 (2,3)
Flexión	0,024 (2,8)

Fuente: <http://www.emcocables.com/catálogos/cables.pdf>.

Se calcula la fuerza del vástago del cilindro neumático:

$$F_{\text{Vástago}} = 54,4943\text{mm}^2 * (2,8\text{KgF/mm}^2 + (\frac{2,8\text{KgF/mm}^2 * 25}{100})) = 190,73\text{KgF}$$

$$F_{\text{Vástago}} = 1870,43\text{N}$$

Se toma en cuenta las consideraciones antes realizadas en el cálculo de los cilindros de efecto simple del sistema de corte, para proceder a dar las características que deben de tener los cilindros de doblado de los extremos de los eslabones, según las condiciones calculadas, ver tabla n.º17.

Tabla n.º 17. *Características de actuadores de dobles*

CARACTERÍSTICAS DE LOS CILINDROS DE DOBLES	
Diámetro de vástago.	20 mm
Diámetro de embolo.	80 mm
Carrera de vástago.	250 mm
Presión de servicio.	90 psi

Fuente: Autoría propia.

$$\text{Fuerza teorica.}(F_t) = 1830,43\text{N}$$

$$\text{Fuerza de rozamiento } 8\% (F_r) = 149,64\text{N}$$

$$\text{Fuerza de muelle } 10\% (F_m) = 187\text{N}$$

$$F_{\text{Real}} = 1870,43\text{N} + 149,64\text{N} + 187\text{N} = 2\,207,07\text{N}$$

$$P = \frac{1870,43\text{N}}{\frac{\pi}{4} * (0,080\text{m})^2} = 372\,109,35\text{Pa} = 3,8\text{Bar}$$

Para que se realice los dobleces de los extremos se necesita una presión de 3,8 Bar, teniendo un sistema diseñado a de 6 Bar, será más que suficiente para que el sistema trabaje sin problema; además, esta presión es estándar en muchos sistemas por lo que será fácil adquirir cilindros.

3.2.20 Sistema de refrigeración

Este sistema se encarga de refrigerar las partes que por contacto y esfuerzo calienta al momento de dar forma al alambre como a las herramientas, evitando temperaturas que aceleren el deterioro de la máquina y la rotura del alambre. Este es un circuito cerrado, en el que se hace circular una emulsión con aceite, la que es impulsada por una bombita centrífuga de bajo caudal. La bomba no produce presión solo flujo, la presión se ocasiona debido a las restricciones del paso del fluido a través de su recorrido, por lo que se necesitará el uso de tuberías de cobre tipo "M" por su resistencia a la corrosión y maniobrabilidad en su empleo. Estas tuberías trabajan a baja presión y son fabricadas para este tipo de uso hidráulico.

Se recomienda el empleo de tuberías, de $\frac{3}{4}$ a 1" de diámetro, que son comunes en el empleo de otros tipos de máquinas de herramienta como tornos, fresas, etc.

Se presenta y recomiendan esta bomba de la figura 23 y se muestra la ficha técnica de la misma en la tabla n.º 18.



Figura 23. Bomba centrífuga.

Fuente: <https://www.promart.pe/electrobomba-periferica-werken-0-5hp/p>.

Tabla n.º 18.

Datos técnicos bomba centrífuga

Modelo	Periférica	Tipo	Electrobomba
Ancho (cm)	12 cm	Profundida (cm)	26 cm
Alto (cm)	15,7 cm	Material	Aluminio
Color	Plata	Máximo poder de descarga	90L/min
Marca	Werken	Presión máxima de trabajo	28 PSI
Peso	5,5 Kg.	Díametro de distribución	1"
Altura recomendable de distribución	40 m	Caudal máximo	40 L/min
Díametro de succión	1"	Máximo de succión	8 m
Potencia HP	0,5 HP	Voltaje	220 V
Garantía	3 Años		
Observaciones			
Instalar en lugares protegidos del clima			
Recomendaciones de uso			
Verifique la coincidencia del voltaje de alimentación con el de la máquina. Leer las instrucciones de uso para una correcta instalación.			
Advertencia de uso			
Mantener alejado de los niños, utilizar herramientas y equipo de protección personal adecuado al momento de instalar el producto. Usar los accesorios adecuados para el producto.			

Fuente: <https://www.promart.pe/electrobomba-periferica-werken-0-5hp/p>.

Se instala una bomba por debajo del tanque refrigerante (ver figura n.º 24), para que se obtenga siempre una bomba cebada positivamente, evitando de esta manera degaste por cavitación; además, la instalación de un screen en la línea de succión impedirá el ingreso de partículas que puedan dañar a la bomba.

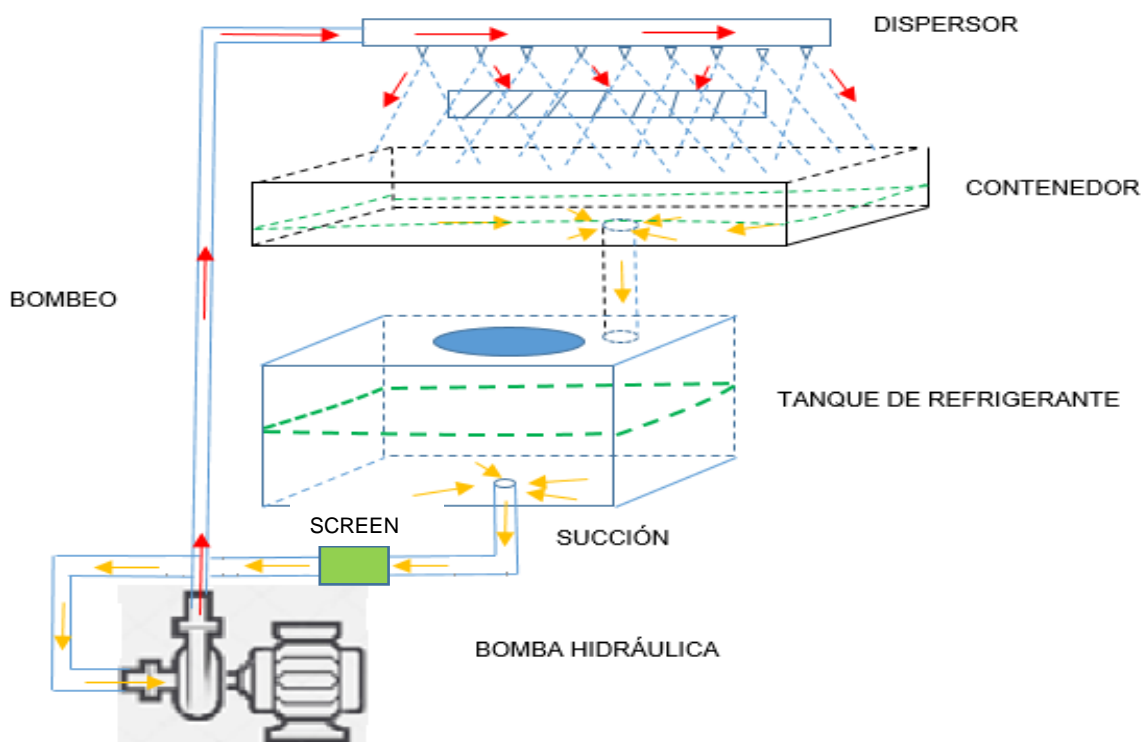


Figura 24. Bomba de refrigeración con cebado positivo.

Fuente: Autoría propia.

El empleo de tuberías rígidas de cobre del tipo "M" proporciona mayor confiabilidad en el trabajo de este sistema de enfriamiento. Ver tabla n.º19.

Tabla n.º 19. *Características de tubo rígido de cobre tipo "M"*

DIAMETRO EXTERIOR		PARED	PESO	PRESIÓN MÁXIMA	PRESIÓN CONSTANTE	FLUJO
NOMINAL Pulg.	EXTERNO Pulg. / mm	Pulg. mm.	Kg / metro	Psi	Psi	L.P.M.
1/4"	3/8" 9.525	0,025 0,635	0,159	6 133	1 226	
3/8"	1/2" 12.7	0,025 0,635	0,216	4 500	900	8,507
1/2"	5/8" 15.875	0,028 0,711	0,304	4 032	806	15,382
3/4"	7/8" 22.225	0,032 0,812	0,488	3 291	658	40,333
1"	1 1/8" 28.575	0,035 0,889	0,693	2 800	560	83,180
1 1/4"	1 3/8" 34.925	0,042 1,067	1,016	2 749	550	148,580
1 1/2"	1 5/8" 41.275	0,049 1,245	1,400	2 713	542	235,940
2"	2 1/8" 53.975	0,058 1,473	2,176	2 470	491	495,860
2 1/2"	2 5/8" 66.675	0,065 1,651	3,025	2 228	445	876,010
3"	3 1/8" 79.375	0,072 1,889	3,994	2 073	414	1 420,09
4"	4 1/8" 104.775	0,095 2,413	6,945	2 072	414	3 025,71

Nota: Utilizada en instalaciones de agua fría y caliente. Norma de fabricación ASTM B-88.

Fuente: Ferretería Ferrovalvulas S.A.S.

3.2.21 Sistema neumático

El sistema neumático consta de un motor trifásico asíncrono, compresor de aire, tanque neumático, porta filtro, regulador de presión, lubricador, cuatro electroválvulas del tipo 3/2; es decir, 3 vías con dos posiciones y cuatro actuadores o cilindros neumáticos, de accionamiento de efecto simple, para la cizalla y los dobles de los terminales de los eslabones. En la figura 25 se muestra el diagrama neumático de los sistemas de la máquina.

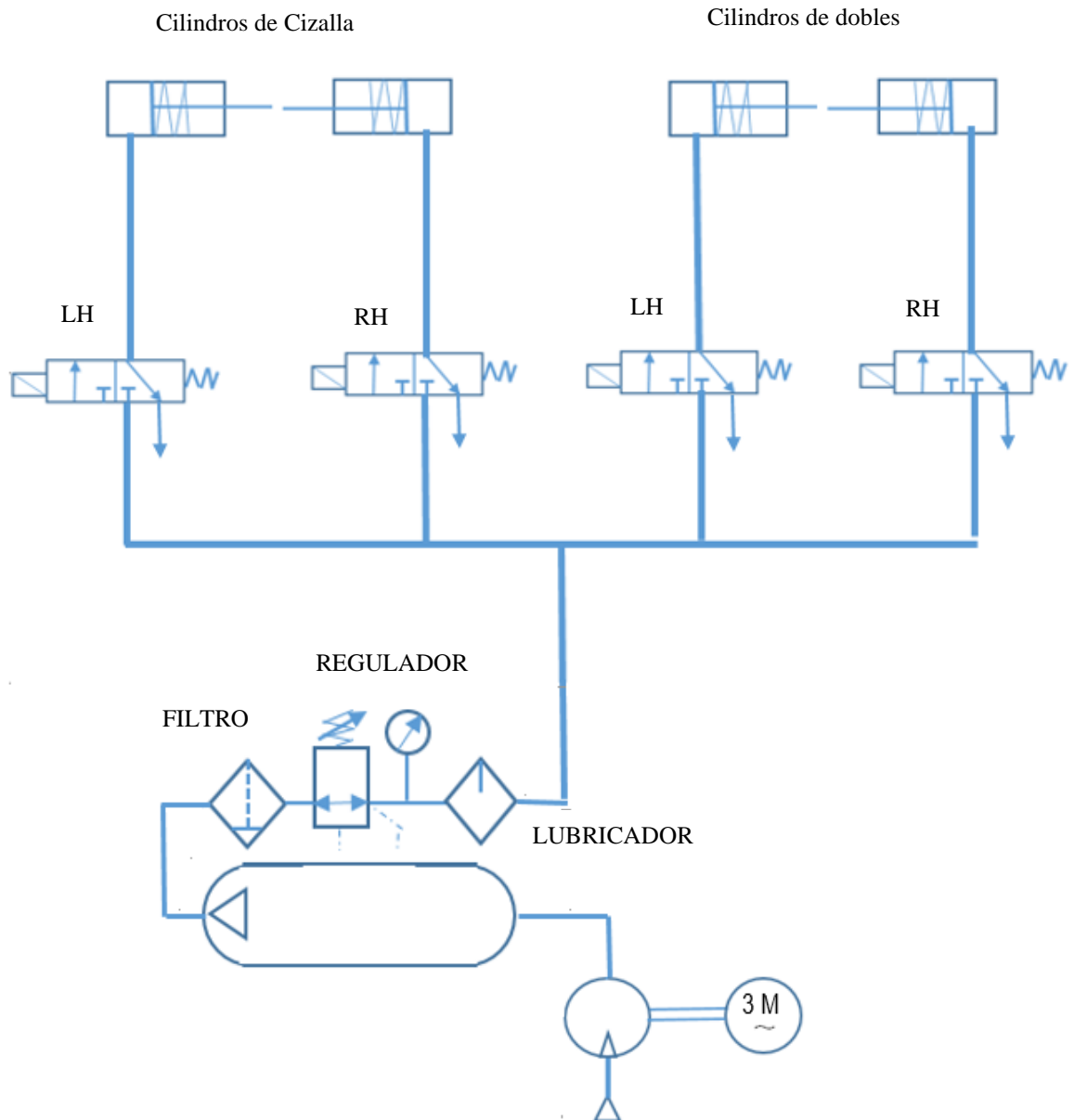


Figura 25. Diagrama del sistema neumático.
Fuente: Autoría propia.

3.2.22 Características de la estructura de la máquina ciclónica

La estructura donde se montará los sistemas y componentes que conforman la máquina ciclónica se construirán de acero laminado, de perfil simple tipo "C", de la serie UPN 50 y de la serie UPE 80. Se muestra sus características en las figuras 26 y 27.

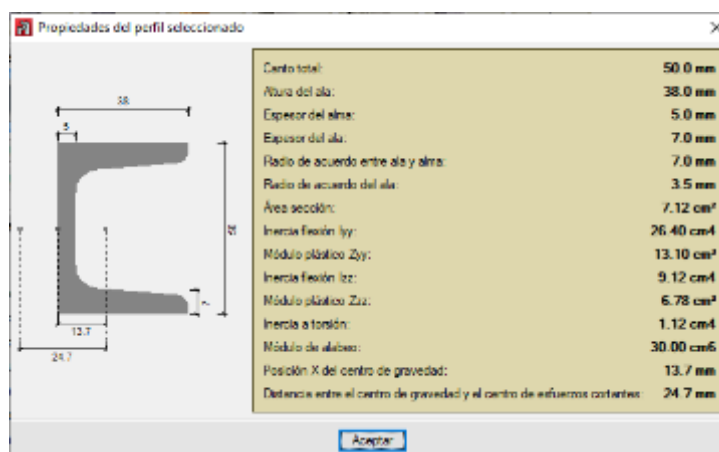


Figura 26. Elemento estructural UPN 50.
Fuente: CYPE.

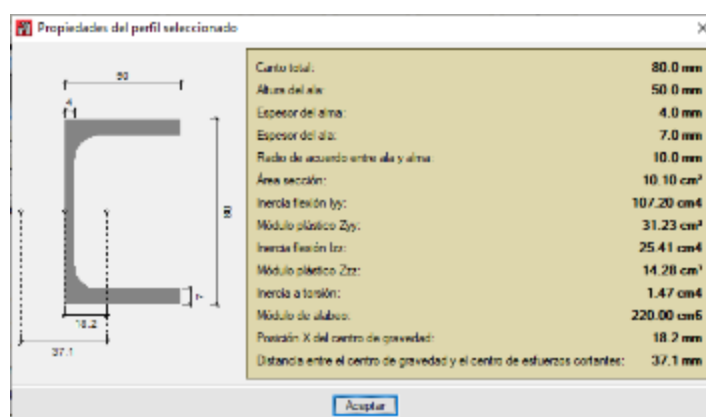


Figura 27. Elemento estructural UPE 80.
Fuente: CYPE.

También se emplea el elemento redondo macizo de la serie R 25, se muestra las propiedades en la figura 28.

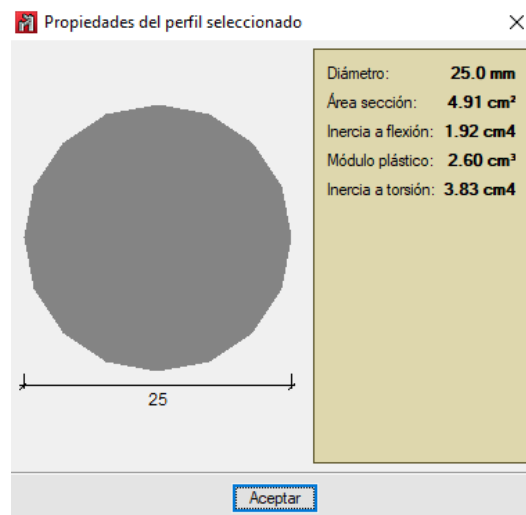


Figura 28. Propiedades del perfil macizo R 25.
Fuente: CYPE.

La estructura se conforma por estos perfiles laminados, los mismos que se encuentran unidos por soldadura. Se muestra esta estructura en tridimensional, en las siguientes imágenes de la figura nros. 29 y 30

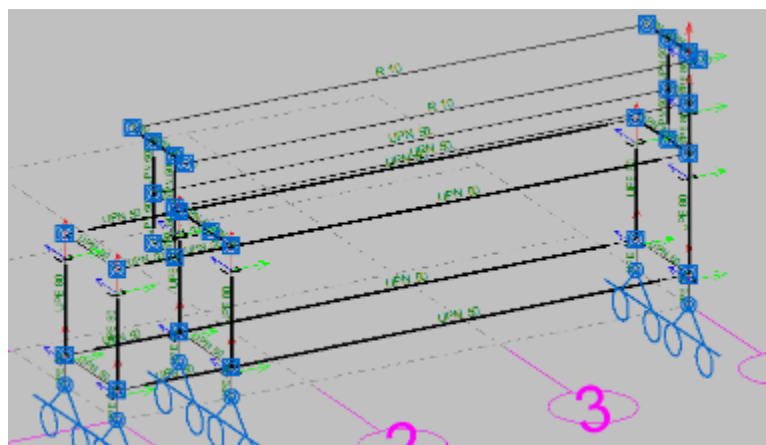


Figura 29. Estructura máquina ciclónica tridimensional.
Fuente: CYPE.

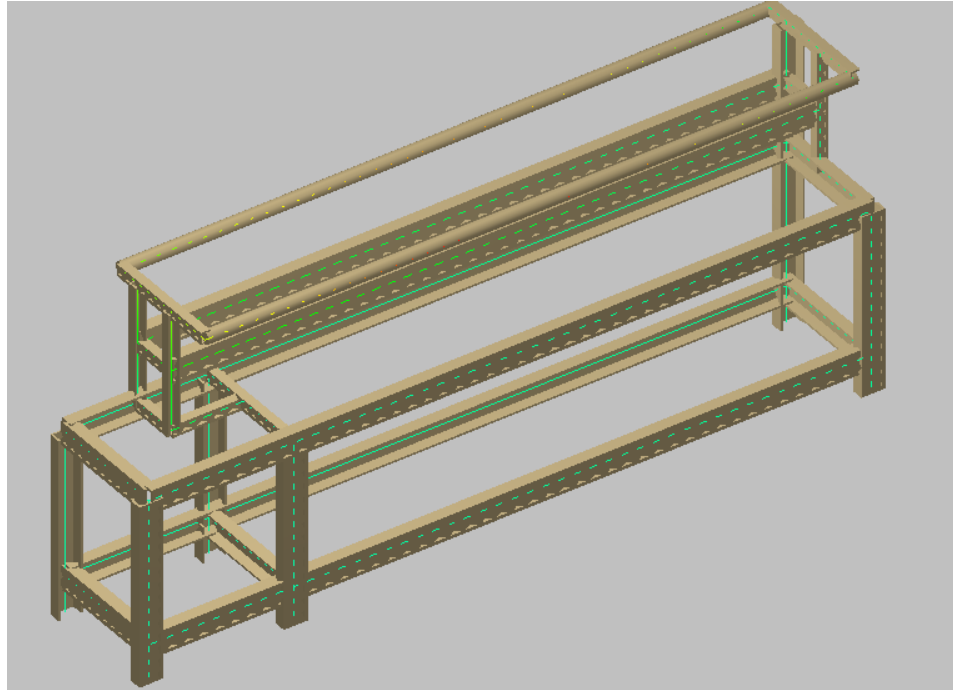


Figura 30. Figura tridimensional.
Fuente: CYPE.

3.3 Medición de indicadores con la aplicación de ingeniería inversa.

3.3.1 Capacidad de producción

Se calcula la producción mensual de la malla ciclónica, de 2m de alto por 20m de largo (40m²), con una maquina automática obtenida a través de la aplicación de la ingeniería inversa. Siendo el ciclo de producción de 60 min por malla.

Máquina automática:

Dimensión – Producción.

- Tiempo base un: mes.
- Ciclo: 60 min.
- Días útiles del mes: 26 días.
- Turnos: 1
- Horas del turno: 8h

$$\text{Producción mensual} = \text{Tiempo base/Ciclo} \quad (26)$$

$$\text{Producción mensual} = \frac{(26 \frac{\text{días}}{\text{mes}})(1 \frac{\text{turno}}{\text{día}})(8 \frac{\text{horas}}{\text{turno}})(60 \frac{\text{min}}{\text{hora}})}{60 \text{ min}}$$

$$\text{Producción mensual} = 208 \text{ rollos de malla/mes}$$

Comentario: Con el cálculo obtenido la máquina automática tendría una capacidad de producción de 208 rollos de mallas por mes, que duplica a las semiautomáticas que solo alcanzan a 104 rollos por mes, mostrando más eficiencia y por lo tanto son más productivas.

3.3.2 Productividad energía

Calculo de la productividad de la energía

Números de malla 1 (rollo de 2mx20m).

Dimensión – Energía.

- Potencia: 7.5 hp Tarifa eléctrica TB5T: 0,5960 Soles /KW-h
- Producción mes: 208 rollos de mallas.
- Días útiles del mes: 26 días.
- Jornal de 8 horas.

$$\text{Productividad de la energía} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumo de energía}} \quad (27)$$

▪ *Máquina automática:*

$$\text{Productividad energía} = \frac{208 \text{ rollos de mallas}}{(7.5\text{hp}) \frac{(0.746\text{Kw})}{(1 \text{ hp})} (8 \text{ h})(26\text{días})}$$

$$\text{Productividad energía} = 0.1787 \text{ rollo de malla por Kw} \cdot \text{h}$$

Comentario: El índice de productividad de energía de la máquina automática indica que por cada 1 Kw-h de energía consumida produce 0,18 rollos de malla ciclónica; por lo tanto, es más productiva que una máquina semiautomática que su índice de productividad de energía es de 0,13 rollos de mallas por 1 Kw-h.

3.3.3 Productividad material

Calculo de productividad de material

Dimensión- Material

- Peso del insumo alambre usado calibre 12. 68 Kg
- Peso de malla de alambre (2mx20m) ciclónica n.º12. 64 Kg
- Precio del Kg de alambre galvanizado n.º12. 4,00 S/ - Kg
- Precio de 1 rollo de malla 405 S/.

$$\text{Productividad material} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumo material}} \quad (28)$$

▪ *Malla calibra n.º12.*

$$\text{Productividad material} = \frac{1 \text{ rollo de malla}}{68 \text{ Kg}}$$

$$\text{Productividad material} = 0,0147 \text{ rollo de malla por Kg}$$

Comentario: El índice de productividad de material de la máquina automática indica que por cada Kg de materia prima se obtiene 0,0147 rollos de mallas, lo que significa que hay más eficiencia en el empleo del insumo, en comparación de la máquina semiautomática que solo produce 0,0133 rollo de malla por Kg.

Para que se corrobore y dar cuenta de lo dicho se realizó la eficiencia física, que también ayuda a la toma de decisiones en las mejoras de procesos.

3.3.4 Eficiencia física

Indicador de materia prima (Eficiencia física).

- Peso de alambre usado calibre 12. 68 Kg
- Peso de malla de alambre (2mx20m) ciclónica n.º12. 64 Kg

$$\text{Eficiencia física} = \frac{\text{Peso del producto}}{\text{Peso de materia prima}} \quad (29)$$

▪ Malla calibre n.º12.

$$\text{Productividad material} = \frac{1 \text{ rollo de malla}}{68 \text{ Kg}}$$

$$\text{Productividad material} = 0,0147 \text{ rollo de malla por Kg}$$

Comentario: La merma es de 5,88% por cada malla ciclónica con alambre galvanizado n.º12, menor perdida en el proceso que en una maquina semiautomática que alcanza a 15% de merma.

3.3.5 Productividad humano

Calculo productividad humana.

Dimensión – Humano.

- Horas por malla: 1 horas.
- Números de operadores: 1 operador.
- Jornal de 8 h: 35 S/.
- Precio de 1 rollo de malla 405 S/.

$$\text{Productividad humano} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumo humano}} \quad (30)$$

$$\text{Productividad humano} = \frac{208 \text{ rollos de mallas}}{(1 \text{ humano}) (8 \text{ h}) (26 \text{ días})}$$

$$\text{Productividad material} = 1 \text{ rollo de malla por h} - \text{h}$$

Comentario: Este índice es el resultado de una hora de trabajo, que es el tiempo del proceso de una malla con la propuesta, mientras que en el proceso actual es de 2 horas.

3.3.6 Productividad global

Como ya se calculó los valores de la productividad parcial con unidades físicas, se procederá a calcular la productividad global con los insumos en valor monetario.

Cálculo de producción global.

Dimensión – Producción global.

- Tarifa eléctrica: 0,5960/KW-hora.
- Precio de Kg de alambre galvanizado N. °12: 4 S/.
- Costo jornal: 35 S/.
- Mes: 26 días.
- Turno: 8 horas.
- Peso de alambre usado: 68Kg.

$$\text{Productividad global} = \frac{\text{Producción total}}{\text{Insumo total}} \quad (3.3)$$

$$\text{Productividad global} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumo (Energía + Material + Humano)}}$$

$$\text{Productividad global} = \frac{208}{((7,5)(0,746)(8)(26)(0,5960) + (68)(26)(8)(4) + (35)(26))} = 0,0036 \text{ rollo de malla por sol}$$

$$\text{Productividad global} = 0,0036 \text{ rollo de malla por sol}$$

Comentario: Esta productividad global señala que por cada sol gastado se obtiene 0,0036 rollos de malla.

En la tabla n.º 20 se puede realizar la comparación de la producción, productividad y eficiencia física entre las dos máquinas, la semiautomática y automática.

Tabla n.º 20. *Tabla comparativa por máquina*

TABLA COMPARATIVA DE PRODUCTIVIDAD POR MÁQUINA

MÁQUINA		SEMIAUTOMÁTICA	AUTOMÁTICA
PRODUCCIÓN		104 Rollos de mallas/mes	208 Rollos de mallas/mes
PRODUCTIVIDAD	ENERGÍA	0,13 Rollo de malla/KW-h	0,1787 Rollo de malla/KW-h
	MATERIAL	0,0133 Rollo de malla por Kg.	0,0147 Rollo de malla por Kg.
	HUMANO	0,5 Rollo de malla/h - h	1 Rollo de malla/h - h
	GLOBAL	0,0032 Rollos de mallas por sol	0,0036 Rollos de mallas por sol
EFICIENCIA	FISICA	85%	94,12%

Fuente: Autoría propia.

3.4 Análisis económico de la viabilidad aplicando la ingeniería inversa

Para la implementación de una máquina automática ciclónica con la herramienta de ingeniería inversa y mejorar la productividad, se realiza el análisis económico del proyecto para saber si es viable llevarla a cabo; para tal efecto, se incrementa el capital de la empresa con un préstamo bancario de 15 000 soles al 45% anual de tasa de interés para efectuar el presente proyecto, capital que ingresa como flujo de caja inicial sumado a los 45 000 soles disponible de capital del patrimonio de la empresa, haciendo un total de 60 000 soles, con los que se calcula los siguientes índices: la tasa mínima aceptable de retorno TMAR global de ambas fuentes de capital, valor actual neto VAN, la relación costo versus beneficio R c/b y la tasa de interés de retorno TIR con un periodo de cinco años de operación.

3.4.1 Cálculo del TMAR

El TMAR del patrimonio se calcula sumando la tasa de inflación anual, el riesgo de inversión y el producto de ambos según la ecuación:

$$\text{TMAR} = \text{Tasa inflación anual} + \text{Riesgo inversión} + (\text{Tasa inflación anual})(\text{Riesgo Inversión}) \quad (34)$$

Según el presidente del Banco Central de Reserva (BCR) Julio Velarde "la proyección de la inflación para este año 2019 se mantendrá alrededor del 2%" (EFE, 2019).

Además, esto sumado al 10% del riesgo medio de la inversión que "Son proyectos que tienen una demanda variable y competencia considerable, se estima un porcentaje de 6 a 10%" (Carlos Slim, 2018).

$$\text{TMAR} = 2\% + 10\% + (2\% \times 10\%) \quad \text{entonces} \quad \text{TMAR} = 0,122$$

"La TMAR bancaria es simplemente el interés que la institución cobra por hacer un préstamo, y aquí se está suponiendo una tasa de interés preferencial. Con estos datos se puede calcular la TMAR del capital total, la cual se obtiene con una ponderación del porcentaje de aportación y la TMAR exigida por cada uno" (Turmero, 2004).

Por lo tanto, el TMAR bancario y global (ver tabla n.º 21) es:

$$\text{TMAR}_{(B)} = 45\% \quad \text{entonces} \quad \text{TMAR}_{(B)} = 0,45$$

Tabla n.º 21. *Cálculo $\text{TMAR}_{(G)}$*

Accionistas	% Aportación	TMAR	Ponderación
Inversión Privada	0,75	0,122	$(0,75)(0,122)=0,0915$
Financiamiento (Banco)	0,25	0,450	$(0,25)(0,45)=0,1125$
TMAR Global			0,2040

Fuente: Datos propios.

Se obtiene un TMAR global de 20,40% con el que se podrá calcular la relación costo vs. beneficio R_b/c y el VAN.

3.4.2 Cálculo de la relación R_b/c

El presente estudio se orienta a la mejora de la productividad; por lo tanto, no se presenta en este análisis un incremento de producción o una mayor demanda en el futuro, teniéndose como base para el cálculo el valor promedio de la venta y producción actual (ver tabla n.º 23); pero si, se ha tomado en consideración la variación del valor de los costos que se lograría con la propuesta, que son menores en la mitad en algunos casos. Ver la tabla n.º 22 donde se muestra para 5 años los ingresos y egresos anuales, que es el promedio de producción y venta mensual actual de 90 mallas por mes, cantidad que se oferta y cubre la demanda de la empresa en la actualidad; esto se debe, a que la producción actual no es continua, y por lo tanto, no se alcanza la producción de las 104 mallas mensuales que podría fabricarse en una máquina semiautomática, y esto a causa de las horas muertas existentes en un turno por paradas de mantenimiento no programadas (fallas), por refrigerio y otros del operador. La venta de las mallas es de 405 soles c/u con alambre n.º 12.

Tabla n.º 22. *Ingreso y egresos por año*

AÑO	INGRESO	EGRESO	*FLUJO DE CAJA
0	0	60 000	-60 000
1	437 400	377 866.92	59 533.08
2	437 400	377 866.92	59 533.08
3	437 400	377 866.92	59 533.08
4	437 400	377 866.92	59 533.08
5	437 400	377 866.92	59 533.08

*El flujo de caja es la diferencia entre el ingreso y egreso.

*Se usa este flujo de caja para calcular la VAN y la TIR.

Fuente: Datos propios.

En la siguiente tabla n.º 23 se encuentran los egresos que se tendrán con la aplicación del presente estudio y la producción mensual actual que se toman en cuenta para realizar el cálculo de viabilidad de este proyecto; donde se toma, en consideración aquellos que están sujeto a medio turno, como el costo de las horas del operario y energía, ya que para producir lo que logra una máquina semiautomática en un turno, la automática lo hace en medio turno; además, la eficiencia de material que corresponde a las condiciones del uso de una máquina automática que es de 68 Kg por malla de alambre n.º12, mientras que una semiautomática es mayor o sea de 75 Kg por malla de alambre del mismo espesor.

Tabla n.º 23. Egreso y Producción Mensual

EGRESOS	EGRESOS	S/.	PRODUCCIÓN	PRODUCCIÓN		
				Año	Mes	Calibre n° 12
	MANTENIM.	1 000,00		2018	Junio	75
	CUOTA + INTERES	638,91			Julio	92
	OPERARIO (1/2 turno)	600,00			Agosto	77
	LOCAL	1 500,00			Setiembre	84
	ALAMBRE (68 Kg)	24 480,00			Octubre	96
	AGUA	170,00			Noviembre	90
	ENERGÍA (5.5 Kw/h) 4 horas	350,00			Diciembre	90
	TELEFONO	200,00		2019	Enero	96
	INTERNET	150,00			Febrero	90
	PUBLICIDAD	1 000,00			Marzo	99
	TRANSPORTE	1 400,00			Abril	94
TOTAL= 31 488,91		Mayo	101			
		PROMEDIO	90			

Fuente: Autoría propia.

Cálculo del valor presente de los ingresos:

$$VP_{(i)} = 0 + \frac{437\,400}{(1,204)} + \frac{437\,400}{(1,204)^2} + \frac{437\,400}{(1,204)^3} + \frac{437\,400}{(1,204)^4} + \frac{437\,400}{(1,204)^5}$$

$$VP_{(i)} = 1\,296\,663.56$$

Cálculo del valor presente de los egresos:

$$VP_{(e)} = 60\,000 + \frac{377\,866,92}{(1,204)} + \frac{377\,866,92}{(1,204)^2} + \frac{377\,866,92}{(1,204)^3} + \frac{377\,866,92}{(1,204)^4} + \frac{377\,866,92}{(1,204)^5}$$

$$VP_{(e)} = 1\,180\,178,94$$

$$Rb/c = \frac{VP_{(i)}}{VP_{(e)}} \Rightarrow Rb/c = \frac{1\,296\,663,56}{1\,180\,178,94}$$

$$Rb/c = 1,10$$

El resultado de esta relación dice que por cada sol invertido se obtiene 0,10 centavos de ganancia.

3.4.3 Cálculo del VAN:

La fórmula para hallar el VAN es:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (35)$$

Donde:

n: Vida útil del proyecto

t: Año de operación

i: Tasa de descuento o "r"

FC: Flujo de caja

Por lo tanto, se tiene:

$$VAN = -60\,000 + \frac{59\,533,08}{(1,204)} + \frac{59\,533,08}{(1,204)^2} + \frac{59\,533,08}{(1,204)^3} + \frac{59\,533,08}{(1,204)^4} + \frac{59\,533,08}{(1,204)^5}$$

$$VAN = 116\,484,63$$

El resultado de la VAN indica que se obtiene una rentabilidad neta de 116 484,63 soles.

3.4.4 Cálculo del TIR:

La fórmula para hallar el TIR es:

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = 0 \quad (36)$$

Donde:

F_n : El flujo de caja que se produce en cada año

n : Vida útil del proyecto

T : Año de operación

i = Tasa de descuento que hace al $VAN = 0$

$$TIR = -60\,000 + \frac{59\,533,08}{(1,i)} + \frac{59\,533,08}{(1,i)^2} + \frac{59\,533,08}{(1,i)^3} + \frac{59\,533,08}{(1,i)^4} + \frac{59\,533,08}{(1,i)^5} = 0$$

$$\Rightarrow i = 96\%$$

Por lo tanto, la $TIR=96\%$ lo que hace la $VAN = 0$

3.4.5 Ventajas económicas

En los cálculos económicos realizados para ver la viabilidad del proyecto se obtuvieron los siguientes datos:

$$TMAR = 20,4\% \quad R_{B/c} = 1,10 \quad VAN = 116\,484,63 \text{ S/.} \quad TIR = 96\%$$

Se puede observar que la tasa mínima de retorno aceptable $TMAR$ es del 20,4%, habiéndose considerado un riesgo máximo medio del 10%, y una tasa de inflación del 2% según el presidente Julio Velarde del BCR, que se mantendría durante este año. Esta tasa del $TMAR$ se empleó para el cálculo del VAN , donde nos arroja un beneficio del 116 484,63 S/ haciendo rentable el proyecto.

La relación de costo vs. beneficio ($R_{c/b}$) da como resultado 0,10 centavos por cada sol invertido y tomando en cuenta las ventas realizadas en los últimos meses.

La tasa interna de retorno TIR que hace que la VAN dé como resultado cero es del 96%, dando como resultado un amplio margen de tasa de retorno; es decir, del 20,4% al 96% pudiendo de esta forma elegir una tasa que sea más conveniente para el negocio.

Todo este análisis económico indica que es rentable el proyecto y que puede ser ejecutado.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

A partir de los hallazgos obtenidos se acepta la hipótesis general que establece que "La aplicación de la ingeniería inversa, en la fabricación de la máquina industrial automática ciclónica, mejora la productividad de la fabricación de mallas ciclónicas de una empresa peruana metalmecánica."

Además, la aplicación de la ingeniería inversa se refuerza en lo siguiente "En el caso donde los documentos técnicos de construcción no existan, las técnicas de Reverse Engineering son usadas por los ingenieros para la reconstrucción de piezas mecánicas" (Weiss & Pankowski, 2007).

La obtención de una máquina automática o repuesto a través del uso de la ingeniería inversa es más económica, reduce los tiempos en reparaciones, impactando positivamente en la productividad de la máquina; así lo demuestra, los resultados de los índices de productividad y de análisis económicos, coincidiendo con lo sostenido por Rocas S.: "La productividad en una empresa está vinculada, en gran medida, a su tecnología tanto de equipos como de planta. Entre mayor tecnología, la productividad por persona es más significativa" (ESAN, 2017).

Además, se demostró que el uso de una máquina automática reduce el tiempo de fabricación de una malla ciclónica de 40 m² en 1 hora, mientras que una máquina semiautomática solo llega a fabricar 20 m²/h en el mismo tiempo, siendo de esta manera las máquinas automáticas más productiva y eficiente concordando con lo publicado en un diario peruano que refiere: "El Perú es uno de los países donde las empresas presentan grandes brechas entre sus tecnologías y la productividad. El 95% de los problemas de las compañías se pueden solucionar con tecnologías existentes, por eso, la importancia de acortar esta brecha es enorme" (El Peruano, 2018).

Al diseñar una máquina automática cubriendo las necesidades del cliente y del proveedor, con la ayuda de la herramienta QFD y otras, se logra el objetivo de mejorar la productividad de la empresa haciéndola más eficiente frente a sus competidores más cercanos y aumentando su nivel de producción, esto es reforzado también por Rocas S. que manifiesta: "La industria peruana pierde productividad frente a países como China que mejoran su productividad e innovan con nuevas tecnologías aplicadas al tamaño de sus empresas. Nos enfrentamos a problemas de competencia internacional al ser muy lentos para cambiar a tecnologías más eficientes" (ESAN, 2017).

Hay muchos detractores del empleo de la ingeniería inversa, por ejemplo en la actualidad en nuestro medio, contrario a esto es empleado en la fabricación de respiradores mecánicos para combatir la pandemia del Covid-19, y todo esto apoyado por estado peruano. Coincidiendo con lo dicho por Rocas S.:

"En el mundo la imitación y la copia fueron los motores del desarrollo. Fue cuando se crearon sistemas de patentes y se endiosaron que estas se convirtieron en un freno para la innovación. Es por eso que las patentes deben ser utilizadas de forma adecuada para los intereses de nuestro país" (ESAN, 2017).

Además, esto se encuentra en concordancia con la ley de La corte Suprema de los Estados Unidos publicada que dice: "[es] empezar con el producto conocido y trabajando hacia atrás o en reversa para adivinar el proceso que ayudó en su desarrollo o manufactura" (Public Law, 2016).

Se han realizados muchos estudios y todos se refieren a la buena prestación del uso de la ingeniería inversa en innumerables disciplinas del que hacer, mejorando la productividad e incrementando la implementación de tecnología.

Por último, se logra incrementar la productividad aumentando la producción con menos costos por insumos, asiéndose más eficiente el proceso y concordando con su definición dada por muchos autores.

4.2 Conclusiones

Finalmente, se llega a las conclusiones sobre los objetivos específicos planteados, al inicio del presente trabajo, habiéndose obtenido los siguientes resultados:

- Se diagnosticó la situación actual de la productividad en la fabricación de mallas ciclónicas, observándose deficiencia en la producción, menor eficiencia física y baja productividad global; además, se determinó que los índices de los factores del proceso como los insumos de materiales, recursos humanos y de energía la hace menos productiva, pudiendo tan solo el indicador de productividad global alcanzar los 0,0032 rollo de malla por sol.
- Tal como esta investigación lo ha demostrado, se pudo diseñar la máquina de fabricación de malla ciclónica con el empleo de la ingeniería inversa, apoyada de algunas referencias físicas como la matriz y otros componentes; además, de las visuales obtenida de internet.
- Se midió los indicadores de productividad con la aplicación de la ingeniería inversa, obteniéndose mayor índice de productividad global (de 0,0036 rollo de malla por sol), mayor producción y más eficiencia física que de la situación actual. También, se observó que los indicadores de los factores del proceso en los insumos de materiales, recursos humanos y de energía son más eficientes.

- Se analizó la viabilidad económica del proyecto con la aplicación de la ingeniería inversa obteniéndose buenos resultados; tal es así que se observó una relación de costo vs. beneficio 0,10 centavos por cada sol invertido, ante una venta moderada, la tasa interna de retorno TIR que hace que la VAN dé como resultado cero es del 96%, dando como resultado un amplio margen de tasa de retorno; es decir, del 20,4% del resultado del TMAR al 96% del TIR, pudiéndose de esta forma elegir una tasa que sea más conveniente para el negocio.

REFERENCIAS

- Álvarez, E., & Sanchez, K. (2016). *Ingeniería Inversa para un Prototipo Anatómico de un Articulador Dental de Plástico*. Tianguistenco: Tesis.
- Arana, L. (2014). *Mejora de Productividad en el Área de producción en una Empresa de Accesorios de Vestir y Artículos de Viaje*. Lima: Tesis.
- Borja, V., Lopez, M., Santillan, S., Gónzales, L., & Bell, R. (08 de 1998). *dx.doi.org*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.1999.01n2.007>
- Carlos Slim. (2018). *cdn3.capacitateparaeempleo.org*. Obtenido de <https://cdn3.capacitateparaeempleo.org/assets/4eqz4uo.pdf>
- Castillo, N. (2018). *¿Por qué la productividad se ha estancado en el Perú?* Lima: El Comercio.
- Chancy, S., & Mejía, A. (2010). *Diseño de una Máquina Registradora de Tres Barras*. Colombia: Tesis de grado.
- Costo-Beneficio. (11 de 05 de 2017). *significados.com*. Obtenido de <https://www.significados.com/costo-beneficio/>
- Desiré, M., & Sepúlveda, R. (2006). Metodo de ingeniería Inversa para Base de Datos Relacionales. *Redalcy.org*, 40.
- EFE. (30 de 03 de 2019). *www.efc.com*. Obtenido de <https://www.efc.com/efc/america/economia/la-economia-de-peru-crecera-un-4-y-inflacion-se-mantendra-en-2-2019/20000011-3939364>
- El Peruano. (2018). *Tecnología para más empresas*. Lima: El Peruano.
- ESAN. (2017). *La tecnología como clave para reactivar el sector manufacturero en el Perú*. Lima: ESAN.
- Felsing, E., & Runza, P. (2002). *Productividad: Un Estudio de Caso en un Departamento de Siniestros*. Buenos Aires: Tesis.
- Flores, S. (27 de 08 de 2012). *www.youtube.com*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=QAW4i2j3kOY>
- Gordon, R., & Melvin, C. (1 de 03 de 2003). *Reverse Engineering the Embryo: a Graduate Course in Developmental Biology for Engineering Students at University of Manitoba, Canada*. Canada: Tesis. Obtenido de [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog?term=%22Int+J+Dev+Bio%22\[Title+Abbreviation\]](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog?term=%22Int+J+Dev+Bio%22[Title+Abbreviation])
- Hernandez, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- INEI. (2015). Perú: Encuesta nacional de innovación en la industria manufacturera 2015. *Instituto Nacional de Estadística e Informática*, 30.
- Jimeno, J. (18 de 10 de 2012). *www.pdcahome.com*. Obtenido de <https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>
- Koch, R. (2007). *El Principio del 80/20*. España: Paidós Iberica.
- Mete, M. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Scielo*, 69.
- Noriega, M., & Díaz, B. (1997). *Técnicas para el Estudio del Trabajo*. Lima: Fondo de Desarrollo Editorial.
- Pacavita, M., Gutierrez, D., & Escorcía, J. (11 de 06 de 2010). *es.slideshare.net*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/diales/mquina-peladora-y-cortadora-de-papas>
- Public Law, 114-153 (Corte Suprema de los Estados Unidos 11 de 04 de 2016).
- Rodriguez, A. (2012). *Metodología de Investigación Científica Aplicado a la Ingeniería*. Callao: UNAC.

- Rv.,R. (2024). *Diagrama de Análisis de procesos*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/rogerancho/10pdiagramadeanalisisdeprocesodap>
- Sabino, C. (1992). *El Proceso de Investigación*. Bogotá: Panamericana.
- Sy, H. (s.f de s.f de s.f). *lifeder.com*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/tmar-tasa-minima-aceptable-rendimiento/>
- Turnero, I. (07 de 2004). *www.monografias.com*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos106/tasa-minima-atractiva-retorno-tmar/tasa-minima-atractiva-retorno-tmar.shtml>
- Vaca, C. (2018). *Maestria en Diseño Mecánico Mención Fabricación de Autopartes de Vehiculos*. Carcelén: Tesis.
- Weiss, Z., & Pankowski, M. (2007). *Knowledge Reengineering for Reverse Engineering Purposes*. Berlín: The Future of Product .
- Weiss, Z., & Pankowski, M. (2007). *Knowledge Reengineering for Reverse Engineering Purposes*. Poznan, Poland.
- Zhañay, C., & Lituma, M. (2011). *Propuesta de un software para el control y seguimiento del proceso de diseño y rediseño de maquinaria papelera para la empresa del grupo Cartopel S.A*. Quito: Tesis.

ANEXOS

Anexo 1. Actividades de innovación

III Encuesta Nacional de Innovación Empresarial
"ENCUESTA NACIONAL DE INNOVACION EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA
Y EMPRESAS DE SERVICIOS INTENSIVAS EN CONOCIMIENTO 2018"

ACTIVIDAD DE INNOVACIÓN	EMPRESA	
	TOTAL	PORCENTAJE %
TOTAL	2 229	100%
INNOVATIVAS/1	1 226	55%
NO INNOVATIVAS/2	1 003	45%

1/ Innovativas: Se realizaron actividades de innovación.

2/ No innovacion: No realizaron actividades de innovación.

Fuente: PRODUCE - INEI

Anexo 2. Malla olímpica o ciclónica



Enrejado con malla Olímpica o también llamada Ciclónica.
Recuperado de: <http://interacero.mx/es/intermallas-2/>

Anexo 3. Máquina ciclónica industrial automática



Máquina tejedora de malla Olímpica semiautomática.
Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8LniuRjIHZA>.

Anexo 4. Maquina enderezadora de alambre



Recuperado de: <https://www.ebay.com/itm/Manual-wire-straightener-10-roller-with-manual-cutters-straightening-wire-/163629007566>.

Anexo 5. Características del alambre galvanizado

ALAMBRE GALVANIZADO						
CALIBRE BWG	DIAMETRO (mm)	TOLERANCIA (mm) (+ , -)	CAPA DE ZINC (g/m ²)	RESISTENCIA TRACCION (kgf/mm ²)	METROS/ TONELADA Aprox.	PESO APROX. (Kilos)
6	5,16	0.04	60	39-37	6.094	90
8	4,19	0.04	60	39-47	9.242	90
9	3,76	0.04	60	39-47	11.476	90
10	3,40	0.04	80	39-47	14.035	90
11	3,05	0.04	70	39-47	17.442	90
12	2,77	0.04	70	39-47	21.146	90
13	2,41	0.04	60	39-47	27.935	90
14	2,11	0.04	60	39-47	36.443	90
15	1,83	0.04	60	39-47	48.449	90
16	1,65	0.04	60	39-47	59.596	90
18	1,24	0.04	40	39-47	105.486	90

Fuente: PROALCO, Alambre Galvanizado.

Anexo 6. Propiedades mecánicas a condiciones normales

PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE					
GRADO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)	LÍMITE DE FLUENCIA (MPa)	ELONGACIÓN (% EN 50 mm)	DUREZA BRINELL MAX.	PROPIEDADES PARA TRABAJO EN FRÍO
AISI 304	515	205	40	202	Muy Buena
AISI 304 L	485	170	40	183	Muy Buena
AISI 316	515	205	40	217	Buena
AISI 316L	485	170	40	217	Buena
AISI 310 S	515	205	40	217	Buena

Fuente: <http://www.emcocables.com/catalogos/cables.pdf>.

Anexo 7. Propiedades físicas de materiales

— TABLA 1 —

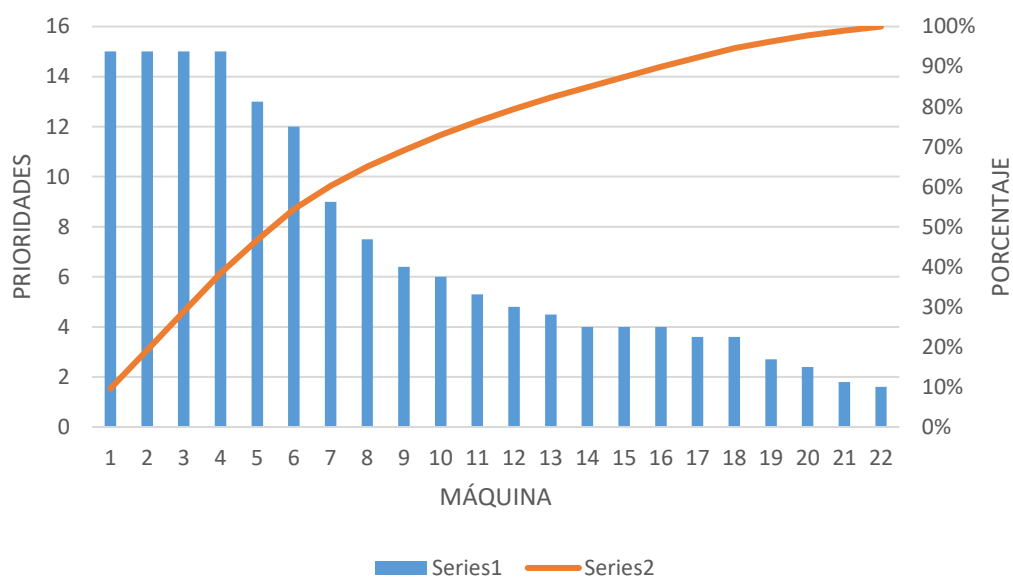
Propiedades Físicas de Materiales de Ingeniería
Módulo de Elasticidad (E), Módulo de Rigidez (G), Coeficiente de Poisson (ν), Peso Específico (γ)...

TABLA 1 Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería								
Datos provenientes de varias fuentes. * Estas propiedades son esencialmente similares para todas las aleaciones del material específico								
Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Razón de Poisson ν	Peso específico γ	Densidad de masa ρ	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/in ³	Mg/m ³	
Aleación de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Recuperado: <https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html#tabla2>

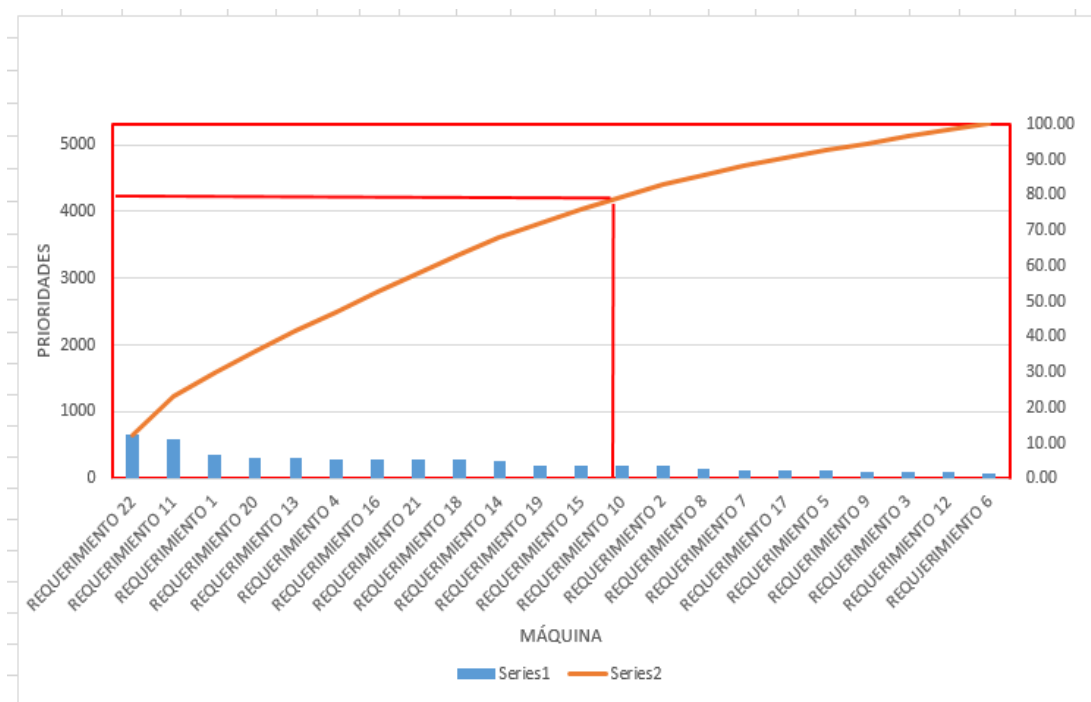
Anexo 8. “Pareto de los “Qué”



Fuente: Autoria propia.

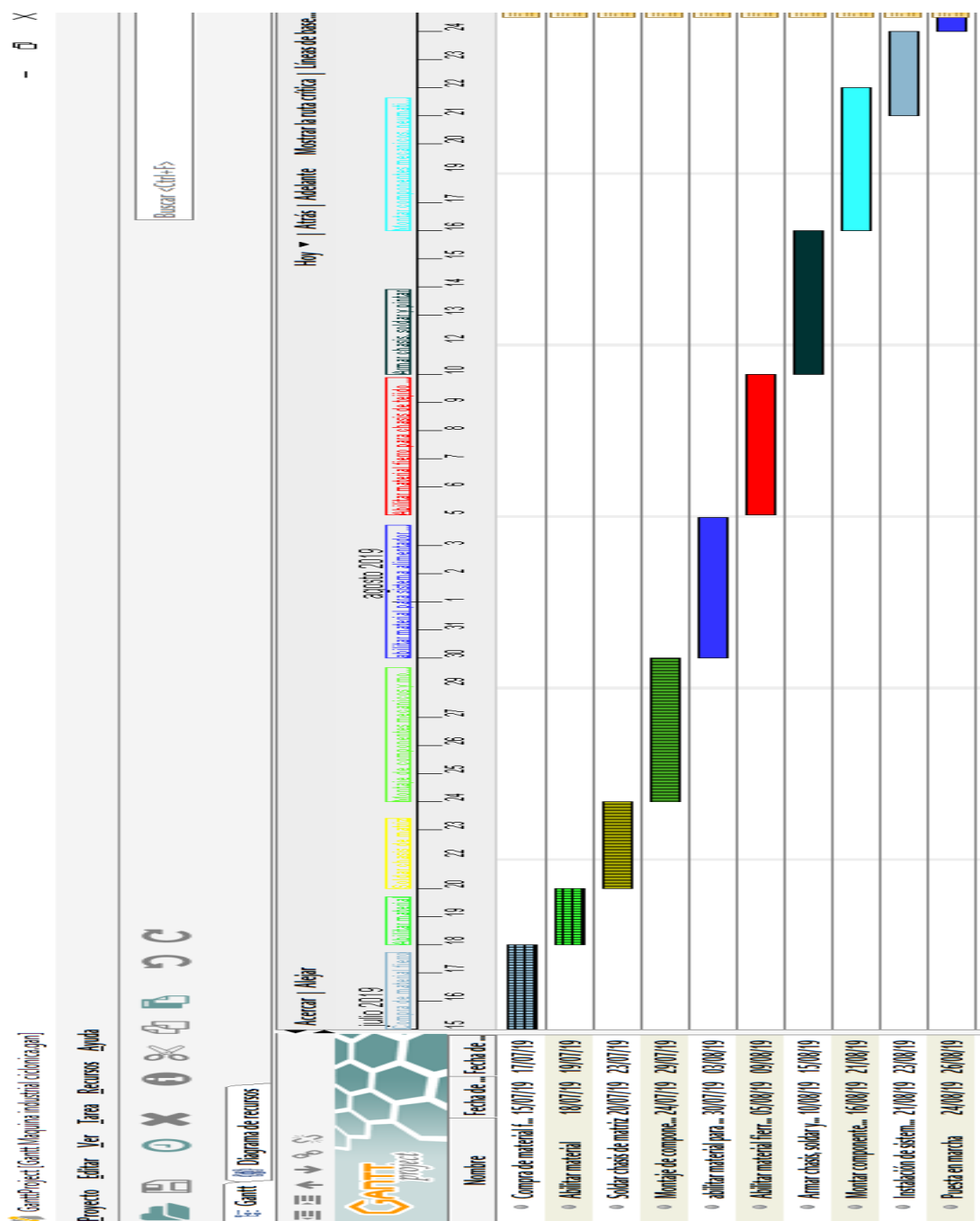
Anexo 9.

Pareto de los “Cómo”



Fuente: Autoría propia.

Anexo 10. Cronograma de actividades Gantt



Fuente: Autoria Propia.

Anexo 11. Propiedades típicas de los aceros

TABLA N°1 : PROPIEDADES TÍPICAS DE LOS ACEROS
Modulo de Elasticidad $E = 2.109.000 \text{ Kg/cm}^2$ ($30 \times 10^6 \text{ PSI}$); Modulo de elasticidad a torsión y corte $G = 808.500 \text{ Kg/cm}^2$ ($11,5 \times 10^6 \text{ PSI}$); La resistencia a la Fluencia en corte o cizalladura esta comprendida entre $0,5S_y$ y $0.6S_y$; Coeficiente de Poisson $\mu = 0.3$; Densidad es aproximadamente 7.85 Kg/dm^3

N° AISI	ESTADO	Res. Máxima Su		Res. Fluencia Sy		Dureza BHN
		Kgf/Cm ²	Ksi	Kgf/Cm ²	Ksi	
Hierro Dulce	Laminado simple	3374	48	1757	25	
C1010	Estirado en Frío	4710	67	3867	55	137
C1015	Estirado en Frío	5413	77	4429	63	170
C1020	Laminado Simple	4569	65	3374	48	143
C1020	Normalizado	4499	64	3515	50	131
C1020	Recocido	4007	57	2952	42	111
C1020	Estirado en Frío	5483	78	4640	66	156
C1022	Laminado simple	5062	72	3656	52	149
C1030	Laminado simple	5621	80	3586	51	179
C1035	Laminado simple	5976	85	3867	55	190
C1045	Laminado simple	6749	96	4148	59	215
C1095	Normalizado	9913	141	5624	80	285
B1113	Acabado en Frío	5835	83	5062	72	170
B1113	Laminado Simple	4921	70	3163	45	138
C1118	Laminado Simple	5273	75	3234	46	149
C1118	Estirado en Frío	5624	80	5273	75	180
C1144	OQT 1000	8296	118	5835	83	235
1340	OQT 1200	7945	113	6468	92	229
1345	OQT 800	13147	187	12303	175	
2317	OQT 1000	5554	79	4991	71	220
2340	OQT 1000	9632	137	8437	120	285
3150	OQT 1000	10616	151	9140	130	300
3250	OQT1000	11670	166	10264	146	340
4363	OQT 1000	12655	180	11249	160	375
4130	WQT 1100	8929	127	8015	114	260
4130	Estirado en Frío	8577	122	7381	105	248
4340	Estirado en Frío	8577	122	7381	105	248
4640	OQT 1000	10686	152	9140	130	310
5140	OQT 1000	10546	150	8999	128	300
5140	Estirado en Frío	7381	105	6187	88	212
8630	Estirado en Frío	8085	115	7030	100	222
8640	OQT 1000	11249	160	10546	150	330
8760	OQT 800	15468	220	14068	200	429
9255	OQT 1000	12655	180	11249	160	352
9440	OQT 1000	10686	152	9491	135	311
9850	OQT 1100	12655	180	11108	158	360

Por: Ing. Guillermo Bavaresco. "GABP Ingeniería". PDF.

Anexo 12. Single wire fully automatic chain link fence machine with CE certificate

Máquina de cerca de alambre ciclónica completamente automática con certificado CE



Product Details

Company Profile

Report Suspicious Activity

Our Services

Company Information

Overview

Quick Details

Place of Origin:

Hebei, China

Condition:

New

Warranty:

2 years

Key Selling Points:

Sustainable

Local Service Locat...

None

Showroom Location:

None

mesh opening:

30-100mm

certificate:

CE

Type:

single wire

Usage:

production chain link fence

Brand Name:

semai

Machine Type:

Wire Mesh Making Machines

After-sales Service ...

Free spare parts, Online support, Field installation, commissio...

After Warranty Serv...

Video technical support, Online support, Spare parts, Field ma...

Applicable Industri...

Building Material Shops, Machinery Repair Shops, Manufactur...

wire diameter:

2.0-4.0mm

mesh size:

1m to 4m

advantage:

best service

delivery:

short

Power:

5.5kw

Supply Ability

Supply Ability:

3 Set/Sets per Month

Recuperado: https://spanish.alibaba.com/product-detail/single-wire-fully-automatic-chain-link-fence-machine-with-ce-certificate60360827618.html?spm=a2700.md_es_ES.deiletai6.6.44267640naXusc.

Anexo 13. Entrevista al jefe de operación

ENTREVISTA

Empresa: Jorge Roman Servicios Generales SAC.

Dirigido a: Jefe de Operación.

Nombre: Pedro Donato T.

Área: Producción.

Fecha: 17/09/2019

1.- ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza? Comente su respuesta.

- a) Preventivo. b) Predictivo.
c) Correctivo. d) Otro, coméntelo.

Comentario: *Se realiza mantenimiento preventivo, cada vez que se tiene un problema.*

2.- ¿Se realiza producción continua?

- a) Sí. ☒ b) No.

Comentario: *Se debe de detener el proceso para retirar la merma que se acumula para reemplazar, para ir al baño o para retirar la malla terminada para iniciar el tejido de otra.*

3.- ¿Es inevitable la cantidad de merma que se ocasiona?

- ☒ a) Sí. b) No.

Comentario: *La merma, no, en función a la habilidad y fuerza del operario, si el operario es nuevo se genera mucha merma en comparación al operario debido a la máquina.*

4.- ¿Se puede fabricar todo tipo de malla ciclónica?

- a) Sí. ☒ b) No.

Comentario: *No se puede fabricar mallas de 2m de ancho por 20m de largo como está en el mercado debido a que el tamaño de la máquina no lo permite.*

5.- ¿Se puede usar alambres de diferentes diámetros?

- a) Sí. ☒ b) No.

Comentarios: *Se fabricamos mallas de alambre número 10 y 12 siendo a que son más comunes en el mercado y son manejables, trabajan con alambres más gruesos no en práctico.*

Fuente: Autoría propia.

Anexo 14. Entrevista a operador

ENTREVISTA

Empresa: Jorge Roman Servicios Generales SAC. **Dirigido a:** Operador de máquina.

Nombre: Antonio Moreno C.

Área: Producción.

Fecha: 18/09/2019

1.- Marque lo que corresponda a su trabajo. Comente su respuesta.

- a) Solo opero. ☒ **Opero y realizo otras tareas del proceso**
c) Solo realizo otras tareas del proceso.

Comentarios: REALIZO LA OPERACIÓN DE LA MÁQUINA Y ADemás COMPLEMENTO CON OTRAS TAREAS DEL PROCESO PARA TERMINAR LA FABRICACIÓN DE LA MAQUILA COMO EL TRASLADO DE MATERIAL, DESCARGA DE LA MAQUILA TERMINADA, DOBLAR DE LOS EXTREMOS DE LOS ESLABONES Y CONTROL DE CALIDAD.

2.- ¿Es fácil operar la máquina? Comente su respuesta.

- a) Sí. ☒ **No.**

Comentario: DEBO DE TENER CUIDADO EN EL CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LOS ESLABONES, CALCULANDO LA VELOCIDAD Y EL TIEMPO PARA EVITAR DESPERDICIAR MATERIAL Y ESTO SE LOGRA CON LA PRÁCTICA POR LO QUE NO ES FÁCIL.

3.- ¿Es seguro la operación de la máquina? Comente su respuesta.

- a) Sí. ☒ **No.**

Comentario: NO ES SEGURO PORQUE LAS PARTES MÓVILES NO SE ENCUENTRAN CON BARRERAS DE SEGURIDAD; SI DECIR, CON CUBIERTAS COMO LAS Cajas, JUEGOS Y ESEJ.

4.- Puede marcar más de una respuesta sobre si la máquina produce ruido, vibración o contaminación.

Comente su respuesta

- ☒ **Produce ruido.** ☐ **Produce vibración.**
☒ **Produce contaminación.**

Comentario: PRODUCE MAQUILA Y RUIDO QUE INTERFERE EL TRABAJO.

Sugerencias del entrevistado mejoras: SE SUGIERE MEJORAR EL SISTEMA DE DESCARGA DE MAQUILA UNA VEZ TERMINADA HACIÉNDOLA MÁS PRÁCTICO SIN TEMER QUE DESAJUSTAR PERALES, CUIDAR CUBIERTAS Y LAS PARTES MÓVILES Y MEJORAR EL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO DE LA MATRIZ PARA PODER AUMENTAR LA VELOCIDAD DE LA MÁQUINA Y AUMENTAR LA PRODUCCIÓN.

Fuente: Autoría propia.

Anexo 15. Entrevista a técnico

ENTREVISTA

Empresa: Jorge Roman Servicios Generales SAC. **Dirigido a:** Técnico Electromecánico.

Nombre: Marco Antonio R.

Área: Mantenimiento.

Fecha: 18/09/2019

1.- ¿Qué voltaje de CA se suministra en la instalación? Comente su respuesta.

- a) 220V monofásico ☒ b) 220V trifásico
c) 380V trifásico ☐ d) 440V trifásico

Comentario: Se cuenta con suministros de 200 voltios trifásico de 60Hz porque el taller está en área residencial y además todos trabajan a 220 voltios.

2.- ¿Sé tiene dificultad para obtener repuesto para la máquina? Comente su respuesta.

- ☒ a) Sí. ☐ b) No.

Comentario: Hay partes como la platina, matriz curvado y otras que se tiene que traer desde el extranjero y demora más de un mes en llegar siendo también bastante caras por el flete.

3.- ¿Sé encuentra todo el control de la máquina centralizado? Comente su respuesta.

- a) Sí. ☒ b) No.

Comentario: El control Push button del enrollado de la malla se encuentra en la parte posterior para regular la cantidad de enrollado que se pueda hacer conforme se avanza con el tejido de malla.

4.- ¿Sé puede emplear todo tipo de calibre de alambre con la máquina? Comente su respuesta.

- a) Sí. ☒ b) No.

Comentario: No se cuenta con matriz para calibres superior al alambre n° 10, aunque si lo tuvieramos no sería posible doblar los terminales de los eslabones manualmente o demorarán mucho tiempo.

5.- ¿Sé ha realizado alguna modificación en la máquina? Comente su respuesta.

- ☒ a) Sí. ☐ b) No.

Comentario: Aproximadamente 1 m del soporte posterior se ha tenido que cambiar antes que el dño encontrado empeore, esto es debido a que se encontró debajo de la pintura corrosión y fisura. Se realizó el cambio reemplazando por un soporte macizo más robusto la máquina.

Sugerencia del entrevistado: Centralizar los controles de la máquina y hacer los pedidos de los repuestos con anticipación para no demorar la reparación de la máquina.

Fuente: Autoría propia.

Anexo 16. Guía de observación

Razón social: Jorge Roman Servicios Generales SAC. RUC: 20602009743

Área: Producción

Producto: Mallas ciclónicas n°12

Tarea: Fabricación de mallas ciclónicas

Máquina: Ciclónica semiautomática

Observador: Jorge Roman castro

Fecha: 23/09/2019

1.- ¿Qué proceso productivo se observa?

La fabricación de mallas de alambre galvanizado de torsión simple.

2.- ¿Qué tipo de máquinas se emplean en el proceso?

Se emplea solo una maquina la Ciclónica automática en la cual se realiza 4 operaciones secuenciales y repetitivas.

3.- ¿Qué operaciones se realiza en la máquina?

En primer lugar, se realiza el rizado, segundo el corte, tercero el tejido y cuarto el enrollado.

Se tiene la energía eléctrica, alambre y refrigerante lubricante.

5.- ¿Qué paradas se tiene durante el turno?

Las paradas que se tiene son por refrigerio, descarga de malla, servicios higiénicos y fallas de máquina y humanas.

6.- ¿Cómo funciona la máquina?

Se emplean unos motores asíncronos para el rizado y enrollado de la malla gobernado desde un tablero por pulsadores, el corte de alambre se realiza a través de enclavamiento mecánico siendo el proceso de secuencia manual y no automática. Durante este proceso se produce merma de alambre consecuencia de fallas durante el proceso tanto de máquina y operador. La rapidez del proceso está sujeto a la habilidad del operador o a la temperatura de la matriz que debe de mantenerse fría para evitar degaste prematuro de la matriz y evitar rotura del alambre.

7.- ¿Qué número de personas se emplean en el proceso?

Solo interviene el operador en el proceso.

Fuente: Autoría propia.

Anexo 17. Informe de observación - Campo

INFORME DE LA OBSERVACIÓN DIRECTA

La observación se realizó desde el día 23/09/2019 hasta el 25/09/2019 durante tres turnos correspondientes a 24 horas laborales en la máquina semiautomática ciclónica con la participación de un solo operador el cual desconoce de la actividad que se realiza de la observación.

Esto se hace como parte de la corroboración de las entrevistas realizadas; además, para la obtención de información complementaria que ayude a determinar las causas que ocasionan las limitaciones de la productividad de la empresa.

Se pudo observar que las primeras horas el operario trabaja con mayor energía la cual disminuye conforme va pasando el tiempo debido a las diversas tareas que realiza como partes del proceso de fabricación, mostrándose el incremento de fatiga conforme pasa el tiempo.

Se pudo observar que las primeras horas el operario trabaja con mayor energía la cual disminuye conforme va pasando el tiempo debido a las diversas tareas que realiza como partes del proceso de fabricación, mostrándose el incremento de fatiga conforme pasa el tiempo.

También se observó que, durante el uso de los servicios higiénicos, del refrigerio y de otras tareas como descarga del producto, retiro de la merma, traslado de material e insertado de nuevo alambre galvanizado a la máquina, el equipo debe ser parado para evitar gasto de energía y por seguridad.

Ante la presencia de alguna falla el operador interviene procurando corregir el desperfecto resolviendo el problema para poner en marcha inmediatamente la máquina y esto se debe a que la falla se produce en ocasiones por error de operación que es ocasionado por error humano de cálculo por no tener sensores de proximidad que ayude a realizar esta tarea produciéndose el problema; todo esto sumado, a que el operador no pueda advertirlo a tiempo por falta de un sistema de advertencia de falla provocándose más merma. También se pudo ver que no hay sistema de bloqueo para mantenimiento y sistema de parada de emergencia.

Por lo antes mencionado hay ocasiones en que el operador no logra a producir los 20m²/h por lo que debe de justificar para poder extender las horas de trabajo y poder cumplir con la proyección y producción del día.



Jorge Wilfredo Román Castro

Fuente: Autoría propia.

Anexo 18. Características de alambre galvanizado

ALAMBRE GALVANIZADO — Retrefilado						
CALIBRE BWG	DIAMETRO (mm)	TOLERANCIA (mm) (+ , -)	CAPA DE ZINC (g/m ²)	RESISTENCIA TRACCION (kgf/mm ²)	METROS/ TONELADA Aprox.	PESO APROX. (Kilos)
14	2,10	0.02	40	50-70	36,779	25
16	1,65	0.02	40	50-70	59,576	25
18	1,25	0.02	40	50-70	103,805	25
20	0,89	0.02	40	50-70	204,767	25

Recuperado de: https://coval.com.co/pdfs/manuales/man_proalco_alambre_galvanizado.pdf.

Anexo 19. Mecanismos mecánicos de doblado



Recuperado de:

<https://www.youtube.com/watch?v=Se0Tod9mbNk>.



Recuperado de:

<https://www.youtube.com/watch?v=DO6XJzTaLz0&list=LLMMZdT11d2Ou40gtGol4grg&index=899>



Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=YMHe1gti8sU>.

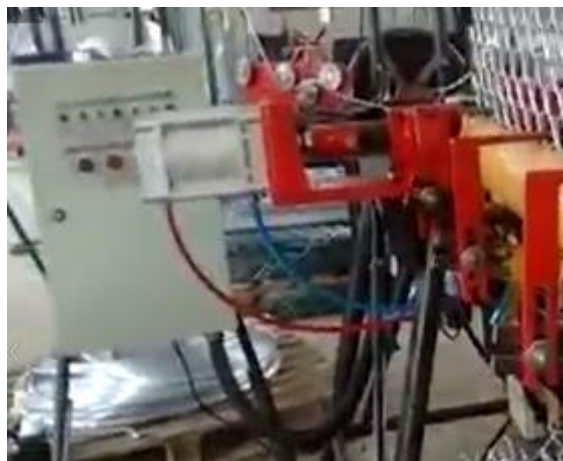
Anexo 20. Mecanismos de dobles y corte neumático

Dobles neumático



Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=T64qU7-cgSw>

Corte neumático



Recuperado: <https://www.youtube.com/watch?v=-XQutueTyLg&list=PLbB8rNJ1c-7hwN7kwpHssWub4z63om44f&index=14>